

**Форма «Т». Титульный лист заявки в Российский научный фонд
Конкурс 2021 года «Проведение фундаментальных научных исследований и
поисковых научных исследований отдельными научными группами»**

Название проекта Физика аккреции и магнитные поля нейтронных звезд: транзиенты и эволюция		Номер проекта 21-12-00141 
		Код типа проекта: ОНК(2021)
		Отрасль знания: 02
		Основной код классификатора: 02-704 Дополнительные коды классификатора: 02-503 02-502
		Код ГРНТИ 41.17.41
Фамилия, имя, отчество (при наличии) руководителя проекта: Шакура Николай Иванович		Контактные телефон и e-mail руководителя проекта: +79153680390, nikolai.shakura@gmail.com
Полное и сокращенное наименование организации, через которую должно осуществляться финансирование проекта: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова" Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, МГУ имени М.В.Ломоносова, Московский университет или МГУ		
Объем финансирования проекта в 2021 г. 6000 тыс. руб.		Год начала проекта: 2021
		Год окончания проекта: 2023
Фамилии, имена, отчества (при наличии) основных исполнителей (полностью)	Липунова Галина Владимировна Попов Сергей Борисович <i>(руководитель проекта в данной графе не указывается)</i>	
Гарантирую, что при подготовке заявки не были нарушены авторские и иные права третьих лиц и/или имеется согласие правообладателей на представление в Фонд материалов и их использование Фондом для проведения экспертизы и для обнародования (в виде аннотаций заявок).		
Подпись руководителя проекта _____/Н.И. Шакура/		Дата регистрации заявки 05.11.2020 г.
Подпись руководителя организации* * Либо уполномоченного представителя, действующего на основании доверенности или распорядительного документа. В случае подписания формы уполномоченным представителем организации (в т.ч. – руководителем филиала) к печатному экземпляру заявки прилагается копия распорядительного документа или доверенности, заверенная печатью организации. Непредставление копии распорядительного документа или доверенности в случае подписания формы уполномоченным представителем организации, а также отсутствие расшифровки подписи, является основанием недопуска заявки к конкурсу. _____/_____		
Печать (при наличии) организации		

Форма 1. Сведения о проекте

1.1. Название проекта

на русском языке

Физика аккреции и магнитные поля нейтронных звезд: транзиенты и эволюция

на английском языке

Physics of accretion and magnetic fields of neutron stars: transients and evolution

1.2. Приоритетное направление развития науки, технологий и техники в Российской Федерации, критическая технология

Указывается согласно перечню (Указ Президента Российской Федерации от 7 июля 2011 года №899) в случае, если тематика проекта может быть отнесена к одному из приоритетных направлений, а также может внести вклад в развитие критических технологий Российской Федерации.

Направление из Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации (утверждена Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации») (при наличии)

1.3. Ключевые слова (приводится не более 15 терминов)

на русском языке

нейтронные звезды, аккреция, рентгеновские источники, пульсары, двойные системы, магнитные поля

на английском языке

neutron stars, accretion, X-ray sources, pulsars, binary systems, magnetic fields

1.4. Аннотация проекта (объемом не более 2 стр.; в том числе кратко – актуальность решения указанной выше научной проблемы и научная новизна)

Данная информация может быть опубликована на сайте Фонда в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет».

на русском языке

Современное и будущее развитие наблюдательной астрофизики ведет к значительному росту массива накопленных наблюдательных данных, включая обзорные, чему способствует и новый уровень чувствительности, достижимый на более совершенных установках - радиотелескопах, рентгеновских детекторах, широкопольных оптических инструментах. В результате открываются источники новых типов, а известные объекты обнаруживают феномены, требующие глубокого анализа для их описания. Проект направлен на исследование свойств некоторых таких источников, а именно, на детальный анализ фундаментальных характеристик и наблюдательных проявлений нейтронных звезд, в первую очередь на стадии аккреции. Будет изучено влияние эволюции магнитного поля и параметров внешней среды на наблюдательные проявления нейтронных звезд в различные периоды их жизненного цикла. Будет разработан открытый численный код, позволяющий рассчитывать структуру аккреционного диска и кривые блеска, наблюдаемые в рентгеновском и оптических диапазонах во время вспышек, вызванных ростом темпа аккреции в дисках вокруг нейтронных звезд. Планируется провести подробное моделирование динамики изгибных аккреционных дисков и в результате детально восстановить физические характеристики аккреционного диска и построить картину синхронизации прецессий диска и нейтронной звезды в особо интересной рентгеновской двойной системе Her X-1 с использованием современных наблюдательных данных.

Все результаты, которые ожидается получить в рамках данного проекта, будут новыми и оригинальными и будут соответствовать мировому уровню.

на английском языке

The current and future development of observational astrophysics leads to a significant increase of accumulated observational data, including survey data, which is also facilitated by a new level of sensitivity achievable with more advanced facilities - radio telescopes, X-ray detectors, and wide-field optical instruments. As a result, sources of new types are being discovered, and well-known objects reveal phenomena that require deep analysis to describe them. The project is aimed at studying the properties of some of these sources, namely, at a detailed analysis of the fundamental characteristics and observational manifestations of

neutron stars, primarily at the stage of accretion. The influence of the evolution of the magnetic field and the surrounding media parameters on observational manifestations of neutron stars at various periods of their life will be studied. An open numerical code will be developed to calculate the structure of the accretion disk and light curves observed in the X-ray and optical ranges during outbursts caused by an increase in the accretion rate in disks around neutron stars. It is planned to carry out a detailed simulation of the dynamics of warped accretion disks and, as a result, to reconstruct in detail the physical characteristics of the accretion disk and to construct a picture of the synchronization of the disk and neutron star precessions in a particularly interesting X-ray binary system Her X-1 using modern observational data.

All the results that are expected to be obtained within the framework of this project will be new, original and globally significant.

1.5. Ожидаемые результаты и их значимость (указываются результаты, их научная и общественная значимость (соответствие предполагаемых результатов мировому уровню исследований, возможность практического использования ожидаемых результатов проекта в экономике и социальной сфере))

Данная информация может быть опубликована на сайте Фонда в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет».

на русском языке

- 1) Моделирование магнитоэволюции молодых нейтронных звезд в двойных системах с учетом вариаций темпа аккреции.
- 2) Оценки параметров одиночных аккрецирующих нейтронных звезд, в том числе в приложении к их идентификации в данных eROSITA.
- 3) Разработка популяционных моделей в рамках магнетарного сценария быстрых радиовсплесков.
- 4) Разработка численного кода для моделирования вспышек рентгеновских транзиентов с расчетом структуры нестационарного аккреционного диска.
- 5) Проверка теоретических моделей взаимодействия вещества диска и магнитосферы нейтронной звезды по наблюдаемым кривым блеска рентгеновских транзиентов во время вспышек.
- 6) Структура диска, в частности, распределение температуры по поверхности изгибаемого аккреционного диска вокруг нейтронной звезды в рентгеновском источнике Her X-1.
- 7) Модель синхронизации периодов свободной прецессии нейтронной звезды и прецессии диска. Построение модели орбитальных вариаций рентгеновского потока и спектра на разных фазах 35-дневного цикла, наблюдаемых у Her X-1.

Данные результаты имеют важное значение для построения цельной картины разнообразных явлений в физике нейтронных звезд и, в целом, объектов экстремальной физики в космосе. Все научные результаты будут получены впервые и будут соответствовать современным запросам мирового научного сообщества, особенно с учетом актуальных и будущих проектов рентгеновских миссий. Результаты исследований будут доложены на научных конференциях, представлены в научно-популярном контенте, использованы в дальнейшей образовательной деятельности группы заявителей. Программное обеспечение будет выложено в открытый доступ на специализированных серверах для использования другими научными группами.

на английском языке

- 1) Modeling the magnetorotational evolution of young neutron stars in binary systems taking into account variations in the accretion rate.
- 2) Estimates of the parameters of isolated accreting neutron stars, as applied to the eROSITA data in particular.
- 3) Development of population models within the magnetar scenario of fast radio bursts.
- 4) Open numerical code for simulating outbursts of X-ray transients along with the calculation of the structure of a non-stationary accretion disk.

- 5) Testing of theoretical models of the interaction of disk matter and the magnetosphere of a neutron star using observed light curves during outbursts of X-ray transients.
- 6) Structure of the disk, in particular, the temperature distribution over the surface of the warped accretion disk around the neutron star in the X-ray source Her X-1.
- 7) Model of synchronization of periods of free precession of the neutron star and disk precession. Construction of a model of orbital variations in the X-ray flux and spectrum at different phases of the 35-day cycle observed in Her X-1.

These results are important for constructing a comprehensive picture of various phenomena in the physics of neutron stars and, in general, objects of extreme physics in space. All scientific results will be obtained for the first time and will correspond to the modern requirements of the world scientific community, especially taking into account current and future projects of X-ray missions. The research results will be reported at scientific conferences, presented in popular science content, used in the further educational activities of the group of applicants. The software will be made publicly available on specialized servers to be used by other scientific groups.

1.6. В состав научного коллектива будут входить (указывается планируемое количество исполнителей в течение всего срока реализации проекта):

Несоответствие состава научного коллектива (в том числе отсутствие информации в соответствующих полях формы) требованиям пункта 12 конкурсной документации является основанием недопуска заявки к конкурсу.

8 исполнителей проекта (включая руководителя),

В соответствии с требованиями пункта 12 конкурсной документации от 4 до 10 человек. Вне зависимости от того, в трудовых или гражданско-правовых отношениях исполнители состоят с организацией.

в том числе

5 исполнителей в возрасте до 39 лет включительно,

из них:

3 очных аспирантов, адъюнктов, интернов, ординаторов, студентов.

1.7. Планируемый состав научного коллектива с указанием фамилий, имен, отчеств (при наличии) членов коллектива, их возраста на момент подачи заявки, ученых степеней, должностей и основных мест работы, формы отношений с организацией (трудовой договор, гражданско-правовой договор) в период реализации проекта

на русском языке

- 1) Шакура Николай Иванович, 75 года, доктор физ.-мат. наук, заведующий отделом Релятивистской астрофизики ГАИШ МГУ
- 2) Попов Сергей Борисович, 48 лет, доктор физ.-мат. наук, профессор РАН, ведущий научный сотрудник ГАИШ МГУ
- 3) Липунова Галина Владимировна, 45 лет, кандидат физ.-мат. наук, старший научный сотрудник ГАИШ МГУ
- 4) Маланчев Константин Леонидович, 30 лет, кандидат физ.-мат. наук, научный сотрудник ГАИШ МГУ
- 5) Колесников Дмитрий Алексеевич, 30 лет, ведущий инженер ГАИШ МГУ
- 6) Хохрякова Алёна Дмитриевна, 22 года, студентка 5 курса физического факультета Московского Государственного университета им М.В. Ломоносова
- 7) Авакян Артур Левонович, 23 года, студент 6 курса физического факультета Московского Государственного университета им М.В. Ломоносова
- 8) Тавлеев Андрей Сергеевич, 23 года, студент 6 курса физического факультета Московского Государственного университета им М.В. Ломоносова

Все участники - трудовой договор

на английском языке

- 1) Shakura Nikolai Ivanovich, 75 years old, doctor of physics and mathematics. Sci., Head of the Relativistic Astrophysics Department of the Sternberg Astronomical Institute (SAI) of the Lomonosov Moscow State University (MSU)
- 2) Popov Sergey Borisovich, 48 years old, Doctor of Phys.-Math. Sci., Professor of the Russian Academy of Sciences, Leading Researcher of the SAI of the MSU
- 3) Lipunova Galina Vladimirovna, 45 years old, candidate of physics and mathematics. Sci., Senior Researcher of the SAI of the MSU
- 4) Konstantin Leonidovich Malanchev, 30 years old, candidate of physics and mathematics. Sci., Researcher at the SAI of the

MSU

- 5) Kolesnikov Dmitry Alekseevich, 30 years old, leading engineer of the SAI of the MSU
- 6) Alena Dmitrievna Khokhryakova, 22 years old, 5th year student of the Physics Faculty of the MSU
- 7) Avakyan Artur Levonovich, 23 years old, 6th year student of the Physics Faculty of the MSU
- 8) Tavleev Andrey Sergeevich, 23 years old, 6th year student of the Physics Faculty of the MSU

All team members have employment contracts.

Соответствие профессионального уровня членов научного коллектива задачам проекта

на русском языке

Коллектив включает ведущих ученых мирового уровня и защищенных исследователей - доктора и кандидаты наук, - одного члена коллектива с предстоящей защитой в ближайшем году под научным руководством Руководителя Проекта и студентов. Задачи проекта адекватны профессиональному уровню группы.

на английском языке

The team includes leading world-class scientists and staff researchers - professors and PhDs - plus one member of the team with the planned PhD defense in the coming year (supervised by the Project Leader) and students. The tasks of the project are adequate to the professional level of the group.

1.8. Планируемый объем финансирования проекта Фондом по годам (указывается в тыс. рублей):

- 2021 г. - 6000 тыс. рублей,
2022 г. - 6000 тыс. рублей,
2023 г. - 6000 тыс. рублей.

Несоответствие планируемого объема финансирования проекта (в том числе отсутствие информации в соответствующих полях формы) требованиям пункта 10 конкурсной документации является основанием недопуска заявки к конкурсу.

1.9. Научный коллектив по результатам проекта в ходе его реализации предполагает опубликовать в рецензируемых российских и зарубежных научных изданиях не менее

Приводятся данные за весь период выполнения проекта. Уменьшение количества публикаций (в том числе отсутствие информации в соответствующих полях формы) по сравнению с порогом, установленным в пункте 16.2 конкурсной документации, является основанием недопуска заявки к конкурсу.

В случае представления публикации в изданиях, индексируемых в базе данных «Сеть науки» (Web of Science Core Collection) или «Скопус» (Scopus), входящих в первый квартал (Q1) по импакт-фактору JCR Science Edition или JCR Social Sciences Edition, по SJR (принадлежность издания к Q1 в Scopus определяется по базе данных <http://www.scimagojr.com/>), данная статья учитывается как две публикации.

16 публикаций,

из них

14 в изданиях, индексируемых в базах данных «Сеть науки» (Web of Science Core Collection) или «Скопус» (Scopus).

Информация о научных изданиях, в которых предполагается опубликовать результаты проекта, в том числе следует указать в каких базах индексируются данные издания - «Сеть науки» (Web of Science Core Collection), «Скопус» (Scopus), РИНЦ, иные базы, а также указать тип публикации - статья, обзор, тезисы, монография, иной тип

Планируются публикации в основных международных рецензируемых журналах по профилю "астрофизика", в том числе в Monthly Notices of Royal Astronomical Society, Astronomy Letters, Astronomical Reports, которые индексируются Web of Science Core Collection, Scopus, РИНЦ. Тип публикаций - тезисы, статьи.

Иные способы обнародования результатов выполнения проекта

Представление на международных конференциях, опубликование результатов в трудах конференций. Представление результатов на астрофизических коллоквиумах и семинарах. Публичное распространение результатов в лекциях и выступлениях для любителей астрономии и интересующихся достижениями современной науки.

1.10. Число публикаций членов научного коллектива, опубликованных в период с 1 января 2016 года до даты подачи заявки,

78, из них

45 – опубликованы в изданиях, индексируемых в Web of Science Core Collection или в Scopus.

1.11. Планируемое участие научного коллектива в международных коллаборациях (проектах) (при наличии)

Руководитель проекта подтверждает, что

- все члены научного коллектива (в том числе руководитель проекта) удовлетворяют пунктам 6, 7, 13 конкурсной документации;
- на весь период реализации проекта он будет состоять в трудовых отношениях с организацией;
- при обнародовании результатов любой научной работы, выполненной в рамках поддержанного Фондом проекта, руководитель проекта и его научный коллектив будут указывать на получение финансовой поддержки от Фонда и организацию, а также согласны с опубликованием Фондом аннотации и ожидаемых результатов поддержанного проекта, соответствующих отчетов о выполнении проекта, в том числе в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»;
- помимо гранта Фонда проект не будет иметь других источников финансирования в течение всего периода практической реализации проекта с использованием гранта Фонда;
- проект не является аналогичным по содержанию проекту, одновременно поданному на конкурсы научных фондов и иных организаций;
- проект не содержит сведений, составляющих государственную тайну или относимых к охраняемой в соответствии с законодательством Российской Федерации иной информации ограниченного доступа;
- доля членов научного коллектива в возрасте до 39 лет включительно в общей численности членов научного коллектива будет составлять не менее 50 процентов в течение всего периода практической реализации проекта;
- в установленные сроки будут представляться в Фонд ежегодные отчеты о выполнении проекта и о целевом использовании средств гранта.

Подпись руководителя проекта _____/Н.И. Шакура/

Форма 2. Сведения о руководителе и основных исполнителях проекта

собираются автоматически (частично) на основе анкетных данных руководителя и исполнителей, подтвердивших свое участие. Список исполнителей формируется в "Форме Т"

Форма 2. Сведения о руководителе

2.1. Фамилия, имя, отчество (при наличии)

на русском языке

Шакура Николай Иванович

на английском языке фамилия и инициалы

Shakura N.

WoS ResearcherID (при наличии)

Можно получить, зарегистрировавшись по адресу www.ResearcherID.com.

<https://publons.com/researcher/ABC-7206-2020/>

Scopus AuthorID (при наличии)

Scopus AuthorID формируется в базе данных Scopus автоматически при появлении у автора хотя бы одной статьи в данной базе. AuthorID указан в авторском профиле, который становится доступен, если при поиске автора в базе данных Scopus (Author Search) в результатах поиска нажать на фамилию автора.

ORCID (при наличии)

Можно получить, зарегистрировавшись по адресу orcid.org.

<https://orcid.org/0000-0002-5672-9517>

2.2. Дата рождения (указывается цифрами – число, месяц, год)

07.10.1945

2.3. Гражданство

РОССИЯ

2.4. Ученая степень, год присуждения

В случае наличия нескольких ученых степеней, указывается та из них, которая наиболее соответствует тематике проекта.

Доктор физико-математических наук, 1989

2.5. Награды и премии за научную деятельность, членство в ведущих научных сообществах (при наличии), участие в редколлегиях ведущих рецензируемых научных изданий (при наличии), участие в оргкомитетах или программных комитетах известных международных конференций, иной опыт организации международных мероприятий

Лауреат Государственной премии РФ в области науки и технологий;

Звание Eminent Scientist ин-та RIKEN Японии;

Премия им. М.В. Ломоносова, МГУ;

Член Международного Астрономического союза;

Членство в организационном комитете международных конференций Zeldovich-1 (2009), Zeldovich-2 (2014),

Zeldovich-3 (2018), Zeldovich-4 (2020)

2.6. Основное место работы на момент подачи заявки – должность, полное наименование организации (сокращенное наименование организации)

Руководитель проекта может на момент подачи заявки не являться работником организации, но, в случае победы в конкурсе, должен заключить с ней трудовой договор. В случае, если руководитель проекта не является гражданином Российской Федерации, организацией должны быть выполнены все процедуры, предусмотренные законодательством Российской Федерации при трудоустройстве иностранных граждан.

заведующий отделом, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова" (Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, МГУ имени М.В.Ломоносова, Московский университет или МГУ, г Москва)

2.7. Область научных интересов – ключевые слова (приводится не более 15 ключевых слов)

на русском языке

аккреция, черные дыры, нейтронные звезды, аккреционные диски, пульсары, рентгеновские источники, белые карлики, двойные звездные системы, квазары

на английском языке

accretion, black holes, neutron stars, accretion discs, pulsars, X-ray sources, white dwarfs, stellar binaries, quasars

2.8. Область научных интересов – коды по классификатору Фонда

02-704

2.9. Перечень публикаций руководителя проекта, опубликованных в период с 1 января 2016 года до даты подачи заявки, подтверждающий выполнение условия пункта 9 конкурсной документации

Для лиц, находившихся в указанный в настоящем пункте период в отпусках по беременности и родам, отпусках по уходу за ребенком, а также отпусках работникам, усыновившим ребенка, допускается наличие соответствующих публикаций также в период, предшествующий 1 января 2016 года, и равный продолжительности таких отпусков.

Достаточно привести ссылки на публикации в количестве, равном установленному в конкурсной документации порогу. В случае представления публикации в изданиях, индексируемых в базе данных «Сеть науки» (Web of Science Core Collection) или «Скопус» (Scopus), входящих в первый квартиль (Q1) по импакт-фактору JCR Science Edition или JCR Social Sciences Edition, по SJR (принадлежность издания к Q1 в Scopus определяется по базе данных <http://www.scimagojr.com/>), данная статья в настоящем пункте указывается как одна публикация, но учитывается как две публикации. При этом необходимо указать на принадлежность издания к Q1 и на год принадлежности издания к Q1. Несоответствие количества публикаций (в том числе отсутствие информации в соответствующих полях формы или отсутствие информации о принадлежности издания к Q1), приводимое в перечне и/или численно в строке ниже, требованиям пункта 9 конкурсной документации является основанием недопуска заявки к конкурсу в соответствии с подпунктом «е» пункта 21 конкурсной документации.

на английском языке

1. Modelling of 35-d superorbital cycle of B and V light curves of IMXB HZ Her/Her X-1.

Kolesnikov, D. A.; Shakura, N. I.; Postnov, K. A.; Volkov, I. M.; Bikmaev, I. F.; Irsambetova, T. R.; Staubert, R.; Wilms, J.; Irtuganov, E.; Golysheva, P. Yu.; Shugarov, S. Yu.; Nikolenko, I. V.; Trunkovsky, E. M.; Schönherr, G.; Schwöpe, A.; Klochkov, D. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2020, Volume 499, Issue 2, pp.1747-1757

DOI: 10.1093/mnras/staa2829

IF = 5.356, Q1

2. Accretion processes in astrophysics. Shakura N.I.; Kolesnikov D.A.; Postnov, K. A.; Volkov, I. M.; Bikmaev, I. F.; Irsambetova, T. R.; Staubert, R.; Wilms, J.; Irtuganov, E.; Golysheva, P. Yu.; Shugarov, S. Yu.; Nikolenko, I. V.; Trunkovsky, E. M.; Schönherr, G.; Schwöpe, A.; Klochkov, D.

Phys. Usp., 2019, vol. 62, pp., 1126-1135, 2019

DOI: 10.3367/UFNe.2019.04.038647

3. *Accretion Flows in Astrophysics* (monograph), Shakura N.I. (editor),

<https://doi.org/10.1007/978-3-319-93009-1>

Springer International Publishing AG, part of Springer Nature 2018

4. Microquasar V404 Cyg/GS 2023+338: MASTER optical observations during the June and December 2015 super-outbursts.

Lipunov, V. M.; Gorbovskey, E.; Kuznetsov, A.; Vlasenko, D.; Kornilov, V. G.; Zimnukhov, D.; Vladimirov, V.; Giovannelli, F.; Titarchuk, L. G.; Shakura, N. I.; Rebolo, R.; Serra-Ricart, M.; Buckley, D. A. H.; Tiurina, N.; Budnev, N. M.; Gress, O.; Hongbo, H.; Wang, X.; Krushinsky, V.; Tlatov, A.; New Astronomy, 2019, Volume 72, p. 42-82.

DOI: 10.1016/j.newast.2019.04.005

IF = 1.058

5. V404 CYG/GS 2023+338: Monitoring in the Optical with Robotic Telescopes of the MASTER Global Network during the 2015 Superburst. Lipunov, V. M.; Kuznetsov, A. S.; Gorbovskey, E. S.; Kornilov, V. G.; Tyurina, N. V.; Vladimirov, V. V.;

Krushinskiy, V. V.; Zalozhnykh, I. S.; Vlasenko, D. M.; Zimnukhov, D. S.; Balanutsa, P. V.; Gabovich, A.; Shakura, N. I.; Giovannelli, F.; Titarchuk, L. G.; Buckley, D. A. H.; Gress, O.; Budnev, N.; Rebolo, R.; Serra-Ricart, M.;

Astronomy Reports, 2019, Volume 63, Issue 7, pp.534-549

DOI: 10.1134/S1063772919070059

IF = 1.164

6. Evolution of broad-band SED during outburst rise in NS X-ray Nova Aql X-1
Meshcheryakov A.V., Tsygankov S.S., Khamitov I.M., Shakura N.I., Bikmaev I.F., Eiselevich M.V., Vlasyuk V.V., Pavlinsky M.N.
Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Blackwell Publishing Inc. (United Kingdom), 2018, vol. 473, pp. 3987-4002, doi:10.1093/mnras/stx2565
<https://academic.oup.com/mnras/article/473/3/3987/4331644>
IF = 5.356, Q1

7. Logarithmic potential for the gravitational field of Schwarzschild black holes
Shakura N.I., Lipunova G.V.
Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Blackwell Publishing Inc. (United Kingdom), 2018, vol. 480, № 3, pp. 4273-4277, doi:10.1093/mnras/sty2165
<https://academic.oup.com/mnras/article/480/3/4273/5068187>
IF = 5.356, Q1

8. Ya. B. Zel'dovich and Foundation of the Accretion Theory
Shakura N.I.
Astronomy Reports, Maik Nauka/Interperiodica Publishing (Russian Federation), 2018, vol. 62, № 12, pp. 823-833, doi:10.1134/S1063772918120314
<https://link.springer.com/article/10.1134%2FS1063772918120314>
IF = 1.235

9. 3D modelling of accretion disc in eclipsing binary system V1239 Her
Lukin V.V., Malanchev K.L., Shakura N.I., Postnov K.A., Chechetkin V.M., Utrobin V.P.
Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Blackwell Publishing Inc. (United Kingdom), 2017, vol. 467, № 3, pp. 2934-2942, doi:10.1093/mnras/stx309
<https://academic.oup.com/mnras/article/467/3/2934/2970359>
IF = 5.356, Q1

10. Convection in axially symmetric accretion discs with microscopic transport coefficients
Malanchev K.L., Postnov K.A., Shakura N.I.
Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Blackwell Publishing Inc. (United Kingdom), 2017, vol. 464, № 1, pp. 410-417, doi:10.1093/mnras/stw2348
<https://academic.oup.com/mnras/article/464/1/410/2194694>
IF = 5.356, Q1

Для русскоязычных названий сведения приводятся на русском языке и в переводе на английский язык. При этом должно быть понятно, что речь идет об одном и том же документе (*например, добавляйте слово «перевод»*).

Перечень содержит 15 публикаций в изданиях, индексируемых в Web of Science Core Collection, Scopus.

Перечень содержит 5 публикаций в изданиях, входящих в первый квартиль (Q1) по импакт-фактору JCR Science Edition или JCR Social Sciences Edition, по SJR (принадлежность издания к Q1 в Scopus определяется по базе данных <http://www.scimagojr.com/>).

2.10. Основные научные результаты руководителя проекта за период с 1 января 2016 года (результаты должны подтверждаться сведениями из заявки, например - публикациями)

на русском языке

1. Теоретически исследован режим квазисферической аккреции на замагниченные нейтронные звезды в режиме оседания. Показано как безразмерные параметры теории могут быть определены из наблюдений равновесных рентгеновских пульсаров типа Vela X-1, GX 301-2.
2. На основе анализа многолетних фотометрических широкополосных наблюдений двойной рентгеновской системы Her X-1=HZ Her было показано, что в этой системе наряду с вынужденной прецессией аккреционного диска (с периодом ~ 35 дней) также имеет место свободная прецессия нейтронной звезды. С фазой свободной прецессии меняется момент магнитных сил, действующий на аккреционный диск со стороны магнитного поля. Тщательный анализ кривых блеска позволил выявить изменение с фазой прецессии наклона и скрученности внутренних частей аккреционного диска, что однозначно свидетельствует о наличии свободной прецессии у нейтронной звезды в этой системе.

3. Обнаружен точный "логарифмический" потенциал, который позволяет точно описывать движение частиц в метрике Шварцшильда на языке потенциалов.

на английском языке

1. The regime of quasi-spherical accretion onto magnetized neutron stars in the settling regime has been theoretically investigated. It is shown how the dimensionless parameters of the theory can be determined from observations of equilibrium X-ray pulsars such as Vela X-1, GX 301-2.
2. Based on the analysis of long-term photometric broadband observations of the binary X-ray system Her X-1 = HZ Her, it was shown that in this system, along with the forced precession of the accretion disk (with a period of ~ 35 days), there is also a free precession of a neutron star. With the free precession phase, the moment of magnetic forces, acting on the accretion disk, changes. By careful analysis of the light curves, it is possible to reveal the change in the inclination and twist of the inner parts of the accretion disk with the precession phase, which unambiguously indicates the presence of free precession in a neutron star in this system.
3. An exact "logarithmic" potential has been found, which allows one to accurately describe the motion of particles in the Schwarzschild metric in the language of potentials.

2.11. Общее число публикаций за период с 1 января 2016 года, 24, из них:

15 - опубликовано в изданиях, индексируемых в Web of Science Core Collection или Scopus,

в том числе 6 публикаций в изданиях, входящих в первый квартиль (Q1) по импакт-фактору JCR Science Edition или JCR Social Sciences Edition, по SJR (принадлежность издания к Q1 в Scopus определяется по базе данных <http://www.scimagojr.com/>).

2.12. Дополнительный список публикаций руководителя проекта с 1 января 2016 года (монографии, результаты интеллектуальной деятельности, имеющие правовую охрану, публикации в ведущих рецензируемых научных изданиях, публикации в изданиях, индексируемых в системах цитирования Web of Science Core Collection, Scopus, приводится не более 10 публикаций, при наличии публикации в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» указывается ссылка на нее (обязательно для публикаций в индексируемых изданиях), указывается, при наличии, импакт-фактор научного издания (по JCR Science Edition, JCR Social Sciences Edition или SJR))

Пункт не является обязательным к заполнению. Могут приводиться публикации, свидетельствующие о научной квалификации и достижениях руководителя проекта, за исключением публикаций, указанных в п. 2.9 настоящей формы.

на английском языке

2.13. Опыт выполнения научных проектов (указываются наименования фондов (организаций), их местонахождение (страна), форма участия, номера, названия проектов и сроки выполнения за последние 5 лет)

на русском языке

РНФ, 14-12-00146, Астрофизика черных дыр, нейтронных звезд и белых карликов, 2014-2016

РНФ, 14-12-00146-П, Астрофизика черных дыр, нейтронных звезд и белых карликов, 2017-2018

РФФИ, 14-02-91345, Физика аккреции в рентгеновских двойных пульсарах -- излучающие области и магнитосферная граница, 2014-2016

РФФИ-ГФЕН, 18-502-12025, Физика аккреции в двойных рентгеновских пульсарах - релятивистские эффекты, профили импульсов и свойства излучения, 2018-2020

РФФИ-ГФЕН, 14-02-91172, Аккреционные диски в докритическом и сверхкритическом режимах, 2014-2015

Программа развития МГУ Объединенная научная школа ГАИШ МГУ «Физика звезд, релятивистских объектов и галактик», 2018

Программа развития МГУ Объединенная научная школа ГАИШ МГУ «Физика звезд, релятивистских объектов и галактик», 2019

на английском языке

RSCF, 14-12-00146, Astrophysics of black holes, neutron stars and white dwarfs, 2014-2016

RSCF, 14-12-00146 (prolongation), Astrophysics of black holes, neutron stars and white dwarfs, 2017-2018

RFBR, 14-02-91345, The physics of accretion in X-ray binary pulsars -- the emitting region and magnetospheric boundary, 2014-2016

RFBR-NSFC, 18-502-12025, The physics of accretion in X-ray binary pulsars - relativistic effects, pulse profiles, and emission properties, 2018-2020

RFBR-NSFC, 14-02-91172, Accretion disks in sub- and super-critical regimes, 2014-2015

The Program of development of M.V. Lomonosov Moscow State University (Leading Scientific School 'Physics of stars, relativistic objects and galaxies'), 2018

The Program of development of M.V. Lomonosov Moscow State University (Leading Scientific School 'Physics of stars, relativistic objects and galaxies'), 2019

В том числе проектов, финансируемых РФФ (при наличии):

Являлся руководителем проекта № 14-12-00146, 2014-2016 гг. **(успешно завершен)**

Являлся руководителем проекта № 14-12-00146 (продление), 2017-2018 гг. **(успешно завершен)**

2.14. Планируемое участие в научных проектах (в любом качестве) в 2021 году

Общее количество – 5, из них:

руководство – 3, участие в качестве исполнителя – 2,

а именно:

государственное задание ГАИШ МГУ, гранты РФФИ, РФФ

(указываются в том числе грантодатели или заказчики проектов и источник финансирования, например – государственное задание учредителя, гранты РФФИ, РФПИ, РФФ, иных фондов или иных организаций, государственный контракт (заказчик, программа), иной хозяйственный договор, иные гранты и субсидии).

2.15. Доля рабочего времени, которую планируется выделить на руководство данным проектом в случае победы в конкурсе Фонда -

30 процентов.

Имеется в виду – от полной занятости в рамках трудовых или гражданско-правовых правоотношений, т.е. занятость в свободное от основной работы время также должна учитываться.

2.16. Предполагаемая форма трудовых отношений с организацией, через которую будет осуществляться финансирование:

Организация будет являться основным местом работы (характер работы – не дистанционный): **да;**

Трудовой договор по совместительству (характер работы – не дистанционный): **нет;**

*Трудовой договор о дистанционной работе (место осуществления трудовой деятельности расположено** на территории Российской Федерации):* **нет.**

***Трудовой кодекс Российской Федерации не предусматривает возможность заключения трудового договора о дистанционной работе с гражданином, проживающим и осуществляющим трудовую деятельность за пределами территории Российской Федерации.*

2.17. Опыт образовательной деятельности за последние 5 лет (указывается информация о руководстве аспирантами, адъюнктами, интернами, ординаторами, разработке и чтении новых образовательных курсов в российских и зарубежных вузах)

Руководство кандидатскими диссертациями Д.А. Колесникова (предполагаемая дата защиты (2021г.), П.Ю. Голышевой (предполагаемая дата защиты (2021г.), К.Л. Маланчева (защитился в 2017 г.), Раздобурдина Д.Н. (защитился в 2017 г).

2.18. Почтовый адрес

119602, г.Москва, Мичуринский пр., Олимпийская д-ня, д.16, кв.98

2.19. Контактный телефон

+79153680390

2.20. Электронный адрес (E-mail)

nikolai.shakura@gmail.com

2.21. Участие в проекте:

Руководитель проекта

2.22. Файлы с дополнительной информацией (*резюме, другая дополнительная информация, которая, по мнению руководителя проекта, может быть полезна для принятия решения о целесообразности финансирования данного проекта*)

В формате pdf, до 3 Мб.

на русском языке

на английском языке

С условиями конкурса Фонда (в том числе, с пунктами 6 и 7 конкурсной документации) ознакомлен и согласен.
Подтверждаю свое участие в проекте.

Фамилия, имя и отчество	Шакура Николай Иванович
Данные документа, удостоверяющего личность *** (серия, номер, сведения о дате и органе выдачи)	<hr/> <hr/> <hr/> <p style="color: red; text-align: center;">Внимание! Данное поле заполняется вручную в печатном экземпляре заявки. Заполнение обязательно!</p>
Адрес проживания	119602, г.Москва, Мичуринский пр., Олимпийская д-ня, д.16, кв.98
Оператор персональных данных	Российский научный фонд

Я выражаю согласие**** на обработку указанным выше оператором персональных данных, внесенных в настоящую форму мною лично.

Обработка Российским научным фондом (адрес: г. Москва, ул. Солянка, д. 14, строение 3) указанных выше персональных данных может осуществляться **посредством** их сбора, систематизации, накопления, хранения, уточнения, использования, блокирования, распространения на официальном сайте Российского научного фонда, передачи и уничтожения **с целью** проведения экспертизы заявок на конкурсы, проводимые Российским научным фондом, экспертизы проектов и программ, финансируемых Российским научным фондом, подготовки аналитических материалов по конкурсам, долговременного сохранения документированной информации об участниках программ, получивших финансирование Российского научного фонда, общедоступного раскрытия информации о руководителях программ и проектов, финансируемых Российским научным фондом. Указанная обработка моих данных может осуществляться в течение 75 лет со дня заполнения настоящей формы в печатной форме. Хранение настоящей формы может быть поручено ООО «РАЙСВОЛФ» (107150, Москва, ул. Бойцовая, д. 22), оказывающему Российскому научному фонду услуги архивного хранения документов. Настоящее согласие может быть отозвано посредством направления на указанный выше адрес оператора персональных данных заявления с требованием о прекращении обработки персональных данных. Заявление должно содержать номер документа, удостоверяющего личность субъекта персональных данных; сведения о дате выдачи указанного документа и выдавшем его органе, а также собственноручную подпись субъекта персональных данных.

*** Непредставление данных документа, удостоверяющего личность, является основанием недопуска заявки к конкурсу.

**** Заполнение является обязательным в соответствии с требованиями Федерального закона от 27 июля 2006 г. №152-ФЗ «О персональных данных».

Подпись руководителя проекта _____/Н.И. Шакура/

Дата подписания «___» _____ 2020 г.

Форма 2. Сведения об основном исполнителе проекта

2.1. Фамилия, имя, отчество (при наличии)

на русском языке

Липунова Галина Владимировна

на английском языке фамилия и инициалы

Lipunova G.

WoS ResearcherID (при наличии)

Можно получить, зарегистрировавшись по адресу www.ResearcherID.com.

<https://publons.com/researcher/S-1357-2016/>

Scopus AuthorID (при наличии)

Scopus AuthorID формируется в базе данных Scopus автоматически при появлении у автора хотя бы одной статьи в данной базе. AuthorID указан в авторском профиле, который становится доступен, если при поиске автора в базе данных Scopus (Author Search) в результатах поиска нажать на фамилию автора.

<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004198811>

ORCID (при наличии)

Можно получить, зарегистрировавшись по адресу orcid.org.

<https://orcid.org/0000-0003-4515-8955>

2.2. Дата рождения (указывается цифрами – число, месяц, год)

12.09.1975

2.3. Гражданство

РОССИЯ

2.4. Ученая степень, год присуждения

В случае наличия нескольких ученых степеней, указывается та из них, которая наиболее соответствует тематике проекта.

Кандидат физико-математических наук, 2001

2.5. Награды и премии за научную деятельность, членство в ведущих научных сообществах (при наличии), участие в редколлегиях ведущих рецензируемых научных изданий (при наличии)

2.6. Основное место работы на момент подачи заявки – должность, полное наименование организации (сокращенное наименование организации)

старший научный сотрудник, Государственный Астрономический институт им. П.К.Штернберга Московского Государственного Университета им. М.В.Ломоносова (ГАИШ МГУ, Московская обл)

2.7. Область научных интересов – ключевые слова (приводится не более 15 ключевых слов)

на русском языке

аккреционные диски, черные дыры, нейтронные звезды, двойные системы, гамма-всплески

на английском языке

accretion discs, black holes, neutron stars, binary systems, gamma-ray bursts

2.8. Область научных интересов – коды по классификатору Фонда

02-704

2.9. Общее число публикаций за период с 1 января 2016 года, 12, из них:

7 - опубликовано в изданиях, индексируемых в Web of Science Core Collection или Scopus.

2.10. Список публикаций основного исполнителя проекта с 1 января 2016 года (монографии, результаты интеллектуальной деятельности, имеющие правовую охрану, публикации в ведущих рецензируемых научных изданиях, публикации в изданиях, индексируемых в системах цитирования Web of Science Core Collection, Scopus, приводится не более 10 публикаций, при наличии публикации в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» указывается ссылка на нее (обязательно для публикаций в индексируемых изданиях), указывается, при наличии, импакт-фактор

1. Gornostaev M.I., Lipunova G.V. Comptonization of CMB in galaxy clusters. Monte Carlo computations // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society - 2020 - Vol. 499 - pp.2994-3005 link: <https://doi.org/10.1093/mnras/staa3010> DOI 10.1093/mnras/staa3010 Impact Factor 5.356

2. A. A. Mushtukov, G. V. Lipunova, A. Ingram, S. S. Tsygankov, J. Mönkkönen, M. van der Klis
Broad-band aperiodic variability in X-ray pulsars: accretion rate fluctuations propagating under the influence of viscous diffusion // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society --- 2019 --- Vol. 486 - p. 4061-4074 link: <https://doi.org/10.1093/mnras/stz948> DOI 10.1093/mnras/stz948 Impact Factor 5.194

3. A. Chashkina, G. Lipunova, P. Abolmasov, J. Poutanen Super-Eddington accretion discs with advection and outflows around magnetized neutron stars
// Astronomy & Astrophysics --- 2019 --- Vol. 626 --- A18 --pp. 14 link: <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201834414> DOI 10.1051/0004-6361/201834414 Impact factor 5.565

4. Shakura N. I., Lipunova G. V. Logarithmic potential for the gravitational field of schwarzschild black holes // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2018. – Vol. 480, no. 3. – P. 4273–4277. link <http://dx.doi.org/10.1093/mnras/sty2165> DOI 10.1093/mnras/sty2165 Impact Factor : 5.194

5. V. Lipunov, V. Kornilov, E. Gorbovskoy, G. Lipunova, D. Vlasenko, I. Panchenko, N. Tyurina, and V. Grinshpun. The discovery of the neutron stars merger gw170817/grb170817a and a binary stars evolution. New Astronomy, 63:48–60, --- 2018 ---- ; link <http://dx.doi.org/10.1016/j.newast.2018.02.004> ; DOI 10.1016/j.newast.2018.02.004 ; Impact factor 0.92

6. N. I. Shakura, G. V. Lipunova, K. L. Malanchev, V. V. Zhuravlev, D. N. Razdoburdin, P. K. Abolmasov, A. Chashkina, K. A. Postnov, A. Y. Kochetkova, and L. Hjalmarsson. Accretion flows in astrophysics. New York, New York, ---- 2018 ---- . link <https://link.springer.com/book/10.1007%2F978-3-319-93009-1> DOI 10.1007/978-3-319-93009-1 (переработанная версия пункта 9)

7. G. V. Lipunova and K. L. Malanchev. Determination of the turbulent parameter in accretion disks: effects of self-irradiation in 4u 1543–47 during the 2002 outburst. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 468(4):4735–4747, ---- 2017 ----. link <http://dx.doi.org/10.1093/mnras/stx768> DOI 10.1093/mnras/stx768 impact factor 5.194

8. V. M. Lipunov, J. Gorosabel, M. V. Pruzhinskaya, Postigo A. de Ugarte, V. Pelassa, A. E. Tsvetkova, I. V. Sokolov, D. A. Kann, Xu Dong, E. S. Gorbovskoy, V. V. Krushinski, V. G. Kornilov, P. V. Balanutsa, S. V. Boronina, N. M. Budnev, Z. Cano, A. J. Castro-Tirado, V. V. Chazov, V. Connaughton, C. Delvaux, D. D. Frederiks, J. F.U. Fynbo, A. V. Gabovich, A. Goldstein, J. Greiner, O. A. Gress, K. I. Ivanov, P. Jakobsson, S. Klose, F. Knust, V. N. Komarova, E. Konstantinov, A. V. Krylov, D. A. Kuvshinov, A. S. Kuznetsov, G. V. Lipunova, A. S. Moskvitin, V. D. Pal'shin, S. B. Pandey, V. A. Poleshchuk, S. Schmidl, Yu P. Sergienko, E. V. Sinyakov, S. Schulze, V. V. Sokolov, T. N. Sokolova, M. Sparre, C. C. Thöne, A. G. Tlatov, N. V. Tyurina, M. V. Ulanov, S. A. Yazev, and V. V. Yurkov. The optical identification of events with poorly defined locations: the case of the fermi gbm grb 140801a. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 455:712–724, --- 2016 ---- link <http://dx.doi.org/doi:10.1093/mnras/stv2228> DOI 10.1093/mnras/stv2228 impact factor 4.961

9. Н. И. Шакура, К. А. Постнов, Г. В. Липунова, К. Л. Маланчев, В. В. Журавлев, Д. Н. Раздобурдин, А. Ю. Кочеткова, Л. Ялмарсдоттер, П. К. Аболмасов, and А. А. Чашкина. Аккреционные процессы в астрофизике. Физматлит Москва, 2016.) https://www.rfbr.ru/rffi/portal/books/o_1933726

одном и том же документе (например, добавляйте слово «перевод»).

2.11. Опыт выполнения научных проектов (указываются наименования фондов (организаций), их местонахождение (страна), форма участия, номера, названия проектов и сроки выполнения за последние 5 лет)
на русском языке

РФФИ 14-02-91345 2014 - 31 декабря 2016 г. "Физика аккреции в рентгеновских двойных пульсарах -- излучающие области и магнитосферная граница" - исполнитель;
РНФ 14-12-00146 2014 - 2018 г. "Астрофизика черных дыр, нейтронных звезд и белых карликов" - исполнитель;
Ведущая научная школа МГУ 1.11.2018 - 31.08.2020 "Физика звезд, релятивистских объектов и галактик" - исполнитель
РФФИ 18-502-12025 1 января 2018 г. - 31 декабря 2020 г. "Физика аккреции в двойных рентгеновских пульсарах - релятивистские эффекты, профили импульсов и свойства излучения" - исполнитель

на английском языке

RFBR 14-02-91345 "Physics of accretion in binary pulsars - radiating areas and magnetospheric boundary" - participant (2014 - 2016);
RSCF 14-12-00146 "Astrophysics of black holes, neutron stars and white dwarfs" - participant (2014-2018);
Program of development of the MSU. Leading scientific school - participant (2018-2020);
RFBR 18-502-12025 "Physics of accretion in binary X-ray pulsars - relativistic effects, impulse profiles, and properties of emission" - participant (2018 -2020)

2.12. Планируемое участие в научных проектах (в любом качестве) в 2021 году

Общее количество – 0, из них:

руководство – 0, участие в качестве исполнителя – 0,

а именно:

нет

(указываются в том числе грантодатели или заказчики проектов и источник финансирования, например – государственное задание учредителя, гранты РФФИ, ФПИ, РНФ, иных фондов или иных организаций, государственный контракт (заказчик, программа), иной хозяйственный договор, иные гранты и субсидии).

2.13. Доля рабочего времени, которую планируется выделить на участие в данном проекте в случае победы в конкурсе Фонда -

30 процентов.

Имеется в виду – от полной занятости в рамках трудовых или гражданско-правовых правоотношений, т.е. занятость в свободное от основной работы время также должна учитываться.

2.14. Участие в образовательной деятельности (указывается информация о руководстве аспирантами, адъюнктами, интернами, ординаторами, разработке и чтении новых образовательных курсов в российских и зарубежных вузах)

руководство дипломными работами студентов 6 курса физического факультета МГУ А.Л. Авакяна и А.С. Тавлеева

2.15. В 2019 или в 2020 годах участвовал в качестве руководителя проекта, финансируемого Фондом, или исполнителя проекта, финансируемого Фондом, в следующих проектах (при наличии):

2.16. Контактный телефон, электронный адрес (E-mail)

+79151546282, galja@sai.msu.ru

2.17. Участие в проекте:

Основной исполнитель проекта

С условиями конкурса Фонда (в том числе, с пунктами 7 и 8 конкурсной документации) ознакомлен и согласен.
Подтверждаю свое участие в проекте.

Фамилия, имя и отчество	Липунова Галина Владимировна
Данные документа, удостоверяющего личность *** (серия, номер, сведения о дате и органе выдачи)	<hr/> <hr/> <hr/> Внимание! Данное поле заполняется вручную в печатном экземпляре заявки. Заполнение обязательно!
Адрес проживания	Москва, 117647, Профсоюзная, 119-2-236
Оператор персональных данных	Российский научный фонд

Я выражаю согласие**** на обработку указанным выше оператором персональных данных, внесенных в настоящую форму мною лично.

Обработка Российским научным фондом (адрес: г. Москва, ул. Солянка, д. 14, строение 3) указанных выше персональных данных может осуществляться **посредством** их сбора, систематизации, накопления, хранения, уточнения, использования, блокирования, распространения на официальном сайте Российского научного фонда, передачи и уничтожения **с целью** проведения экспертизы заявок на конкурсы, проводимые Российским научным фондом, экспертизы проектов и программ, финансируемых Российским научным фондом, подготовки аналитических материалов по конкурсам, долговременного сохранения документированной информации об участниках программ, получивших финансирование Российского научного фонда, общедоступного раскрытия информации о руководителях программ и проектов, финансируемых Российским научным фондом. Указанная обработка моих данных может осуществляться в течение 75 лет со дня заполнения настоящей формы в печатной форме. Хранение настоящей формы может быть поручено ООО «РАЙСВОЛФ» (107150, Москва, ул. Бойцовая, д. 22), оказывающему Российскому научному фонду услуги архивного хранения документов. Настоящее согласие может быть отозвано посредством направления на указанный выше адрес оператора персональных данных заявления с требованием о прекращении обработки персональных данных. Заявление должно содержать номер документа, удостоверяющего личность субъекта персональных данных; сведения о дате выдачи указанного документа и выдавшем его органе, а также собственноручную подпись субъекта персональных данных.

*** Непредставление данных документа, удостоверяющего личность, является основанием недопуска заявки к конкурсу.

**** Заполнение является обязательным в соответствии с требованиями Федерального закона от 27 июля 2006 г. №152-ФЗ «О персональных данных».

Подпись исполнителя проекта _____/Г.В. Липунова/

Дата подписания «___» _____ 2020 г.

Форма 2. Сведения об основном исполнителе проекта

2.1. Фамилия, имя, отчество (при наличии)

на русском языке

Попов Сергей Борисович

на английском языке фамилия и инициалы

Popov S.B.

WoS ResearcherID (при наличии)

Можно получить, зарегистрировавшись по адресу www.ResearcherID.com.

<https://publons.com/researcher/B-6368-2008/>

Scopus AuthorID (при наличии)

Scopus AuthorID формируется в базе данных Scopus автоматически при появлении у автора хотя бы одной статьи в данной базе. AuthorID указан в авторском профиле, который становится доступен, если при поиске автора в базе данных Scopus (Author Search) в результатах поиска нажать на фамилию автора.

<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7202624235>

ORCID (при наличии)

Можно получить, зарегистрировавшись по адресу orcid.org.

<https://orcid.org/0000-0002-4292-8638>

2.2. Дата рождения (указывается цифрами – число, месяц, год)

08.12.1971

2.3. Гражданство

РОССИЯ

2.4. Ученая степень, год присуждения

В случае наличия нескольких ученых степеней, указывается та из них, которая наиболее соответствует тематике проекта.

Доктор физико-математических наук, 2012

2.5. Награды и премии за научную деятельность, членство в ведущих научных сообществах (при наличии), участие в редколлегиях ведущих рецензируемых научных изданий (при наличии)

Премия "За верность науке" 2016 г.

Член Международного астрономического союза

2.6. Основное место работы на момент подачи заявки – должность, полное наименование организации (сокращенное наименование организации)

ведущий научный сотрудник, Государственный Астрономический институт им. П.К.Штернберга Московского

Государственного Университета им. М.В.Ломоносова (ГАИШ МГУ, Московская обл)

2.7. Область научных интересов – ключевые слова (приводится не более 15 ключевых слов)

на русском языке

нейтронные звезды, двойные системы, черные дыры, аккреция, экзопланеты

на английском языке

neutron stars, binary systems, black holes, accretion, exoplanets

2.8. Область научных интересов – коды по классификатору Фонда

02-704

2.9. Общее число публикаций за период с 1 января 2016 года, 28, из них:

24 - опубликовано в изданиях, индексируемых в Web of Science Core Collection или Scopus.

2.10. Список публикаций основного исполнителя проекта с 1 января 2016 года (монографии, результаты интеллектуальной деятельности, имеющие правовую охрану, публикации в ведущих рецензируемых научных изданиях,

публикации в изданиях, индексируемых в системах цитирования *Web of Science Core Collection*, *Scopus*, приводятся не более 10 публикаций, при наличии публикации в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» указывается ссылка на нее (обязательно для публикаций в индексируемых изданиях), указывается, при наличии, импакт-фактор научного издания (по *JCR Science Edition*, *JCR Social Sciences Edition* или *SJR*)

Пункт не является обязательным к заполнению. Могут приводиться публикации, свидетельствующие о научной квалификации и достижениях.
на английском языке

1. A.P. Igoshev, J.G. Elfriz, S.B. Popov

``Post fall-back evolution of multipolar magnetic fields and radio pulsar activation``

MNRAS vol. 462, pp. 3689-3702 (2016) [IF=5.231] <http://mnras.oxfordjournals.org/content/462/4/3689>

2. S.B. Popov, R. Taverna, R. Turolla

``Probing the surface magnetic field structure in RXJ1856.5-3754``

MNRAS vol. 464, 4390 (2017) [IF=5.231] <http://adsabs.harvard.edu/abs/2017MNRAS.464.4390P>

3. S.B. Popov, K.A. Postnov, M.S. Pshirkov

``Fast radio bursts``

Physics Uspekhi vol. 61, pp. 965-9 (2018) [IF=3.090] <https://iopscience.iop.org/article/10.3367/UFNe.2018.03.038313>

4. A.P. Igoshev, S.B. Popov

"How to make a mature accreting magnetar"

MNRAS vol. 473 pp. 3204-3210 (2018) [IF=5.231] <http://adsabs.harvard.edu/abs/2018MNRAS.473.3204I>

5. S.B. Popov, S. Mereghetti, S.I. Blinnikov, A.G. Kuranov, L.R. Yungelson

"A young contracting white dwarf in the peculiar binary HD 49798/RXJ0648.0-4418?"

MNRAS vol. 474 pp. 2750-2756 (2018) [IF=5.231] <http://adsabs.harvard.edu/abs/2018MNRAS.474.2750P>

6. A.V. Popkov, S.B. Popov

``The rate of planet-star coalescences due to tides and stellar evolution``

MNRAS vol. 490, pp.2390-2415 (2019) [IF=5.356] <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2019MNRAS.490.2390P/abstract>

7. S.B. Popov, M.S. Pshirkov

``Fast Radio Bursts counterparts in the scenario of supergiant pulses``

MNRAS vol. 462, L16-L20 (2016) [IF=5.231] <http://adsabs.harvard.edu/abs/2016MNRAS.462L.16P>

8. González-Galán, A., Oskinova, L. M.; S.B. Popov et al.

``A multiwavelength study of SXP 1062, the long-period X-ray pulsar associated with a supernova remnant``

MNRAS vol. 475 pp. 2809-2814 (2018) [IF=5.356] <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2018MNRAS.475.2809G/abstract>

9. A.P. Igoshev, S.S. Tsygankov, M. Rigoselli, S. Mereghetti, S.B. Popov, J.G. Elfriz, A. A. Mushtukov

``Discovery of X-rays from the old and faint pulsar J1154--6250``

ApJ vol. 865, id. 116 (2018) [IF=5.580] <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2018ApJ...865..116I>

10. O. Kulikova, S.B. Popov, V.V. Zhuravlev

``Planet migration in wind-fed accretion disks in binaries``

MNRAS vol. 487, pp. 3069-3078 (2019) [IF=5.231] <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2019MNRAS.487.3069K>

Для русскоязычных названий сведения приводятся на русском языке и в переводе на английский язык. При этом должно быть понятно, что речь идет об одном и том же документе (например, добавляйте слово «перевод»).

2.11. Опыт выполнения научных проектов (указываются наименования фондов (организаций), их местонахождение (страна), форма участия, номера, названия проектов и сроки выполнения за последние 5 лет)
на русском языке

РНФ 14-12-00146 "Астрофизика черных дыр, нейтронных звезд и белых карликов" - исполнитель (2014-2018);
РФФИ 14-02-00657 "Популяции одиночных и двойных нейтронных звезд в галактиках" - исполнитель (2014-2016);
РФФИ 15-12-20038 "Великое объединение нейтронных звезд" - руководитель (2015).
Программа развития МГУ. Ведущая научная школа - исполнитель (2018)
Программа развития МГУ. Ведущая научная школа - исполнитель (2019)
Программа развития МГУ. Ведущая научная школа - исполнитель (2020)
Грант Министерства высшего образования и науки РФ, проект 075-15-2020-780 - исполнитель (2020-2022)
Грант Министерства высшего образования и науки РФ, проект 075-15-2020-778 - исполнитель (2020-2022)

на английском языке

RSCF 14-12-00146 "Astrophysics of black holes, neutron stars and white dwarfs" - participant (2014-2018);
RFBR 14-02-00657 "Populations of isolated and binary neutron stars in galaxies" - participant (2014-2016);
RFBR 15-12-20038 "Grand unification for neutron stars" - PI (2015).
Program of development of the MSU. Leading scientific school - participant (2018)
Program of development of the MSU. Leading scientific school - participant (2019)
Program of development of the MSU. Leading scientific school - participant (2020)
Grant of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation project no. 075-15-2020-780 - participant (2020-2022)
Grant of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation project no. 075-15-2020-778 - participant (2020-2022)

2.12. Планируемое участие в научных проектах (в любом качестве) в 2021 году

Общее количество – 2, из них:

руководство – 0, участие в качестве исполнителя – 2,

а именно:

Грант Министерства высшего образования и науки РФ, проект 075-15-2020-780

Грант Министерства высшего образования и науки РФ, проект 075-15-2020-778

(указываются в том числе грантодатели или заказчики проектов и источник финансирования, например – государственное задание учредителя, гранты РФФИ, ФПИ, РНФ, иных фондов или иных организаций, государственный контракт (заказчик, программа), иной хозяйственный договор, иные гранты и субсидии).

2.13. Доля рабочего времени, которую планируется выделить на участие в данном проекте в случае победы в конкурсе Фонда -

30 процентов.

Имеется в виду – от полной занятости в рамках трудовых или гражданско-правовых правоотношений, т.е. занятость в свободное от основной работы время также должна учитываться.

2.14. Участие в образовательной деятельности (указывается информация о руководстве аспирантами, адъюнктами, интернами, ординаторами, разработке и чтении новых образовательных курсов в российских и зарубежных вузах)

спецкурс "Современная феноменология нейтронных звезд и черных дыр". Астрономическое отделение физического факультета МГУ. 2008, 2009, 2011, 2013, 2015, 2017, 2018, 2019, 2020.

спецкурс "Физика формирования и эволюции экзопланет". Астрономическое отделение физического факультета МГУ. 2017, 2018, 2019, 2020.

курс "Основы астрофизики и космологии". Политехнический университет, Москва. 2016.

Курс "Астрофизика". Физический факультет МГУ им. Ломоносова. 2017, 2018, 2019, 2020.

Курс "Астрофизика" (бакалавры). факультет физики Высшая школа экономики. 2018, 2019, 2020.

Курс "Астрофизика и космология" (магистры). факультет физики Высшая школа экономики. 2019, 2020.

Курс "Основы природы космических сред". Факультет космических исследований. МГУ им. Ломоносова. 2019, 2020.

Руководство курсовыми работами (7 - годы защит 2013, 2015, 2018, 2019, 2020), руководство дипломниками (6 - годы защит 2006, 2011, 2015, 2017, 2020).

В настоящий момент (2020 г.) руководство 4 студентами и одним аспирантом.

2.15. В 2019 или в 2020 годах участвовал в качестве руководителя проекта, финансируемого Фондом, или исполнителя проекта, финансируемого Фондом, в следующих проектах (при наличии):

2.16. Контактный телефон, электронный адрес (E-mail)

+74959395006, sergepolar@gmail.com

2.17. Участие в проекте:

Основной исполнитель проекта

С условиями конкурса Фонда (в том числе, с пунктами 7 и 8 конкурсной документации) ознакомлен и согласен.
Подтверждаю свое участие в проекте.

Фамилия, имя и отчество	Попов Сергей Борисович
Данные документа, удостоверяющего личность *** (серия, номер, сведения о дате и органе выдачи)	<hr/> <hr/> <hr/> Внимание! Данное поле заполняется вручную в печатном экземпляре заявки. Заполнение обязательно!
Адрес проживания	115477, Москва, Пролетарский проспект 33-214
Оператор персональных данных	Российский научный фонд

Я выражаю согласие**** на обработку указанным выше оператором персональных данных, внесенных в настоящую форму мною лично.

Обработка Российским научным фондом (адрес: г. Москва, ул. Солянка, д. 14, строение 3) указанных выше персональных данных может осуществляться **посредством** их сбора, систематизации, накопления, хранения, уточнения, использования, блокирования, распространения на официальном сайте Российского научного фонда, передачи и уничтожения **с целью** проведения экспертизы заявок на конкурсы, проводимые Российским научным фондом, экспертизы проектов и программ, финансируемых Российским научным фондом, подготовки аналитических материалов по конкурсам, долговременного сохранения документированной информации об участниках программ, получивших финансирование Российского научного фонда, общедоступного раскрытия информации о руководителях программ и проектов, финансируемых Российским научным фондом. Указанная обработка моих данных может осуществляться в течение 75 лет со дня заполнения настоящей формы в печатной форме. Хранение настоящей формы может быть поручено ООО «РАЙСВОЛФ» (107150, Москва, ул. Бойцовая, д. 22), оказывающему Российскому научному фонду услуги архивного хранения документов. Настоящее согласие может быть отозвано посредством направления на указанный выше адрес оператора персональных данных заявления с требованием о прекращении обработки персональных данных. Заявление должно содержать номер документа, удостоверяющего личность субъекта персональных данных; сведения о дате выдачи указанного документа и выдавшем его органе, а также собственноручную подпись субъекта персональных данных.

*** Непредставление данных документа, удостоверяющего личность, является основанием недопуска заявки к конкурсу.

**** Заполнение является обязательным в соответствии с требованиями Федерального закона от 27 июля 2006 г. №152-ФЗ «О персональных данных».

Подпись исполнителя проекта _____/С.Б. Попов/

Дата подписания «___» _____ 2020 г.

Форма 3. Сведения об организации

собираются автоматически на основе регистрационных данных организации, через которую будет осуществляться финансирование ("Форма Т")

3.1. Полное наименование *(приводится в соответствии с регистрационными документами)*

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова"

3.2. Сокращенное наименование

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, МГУ имени М.В.Ломоносова, Московский университет или МГУ

3.3. Наименование на английском языке

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Lomonosov Moscow State University

3.4. Организационно-правовая форма *(указывается по ОКОПФ)*

Федеральные государственные бюджетные учреждения

3.5. Форма собственности *(указывается по ОКФС)*

Федеральная собственность

3.6. Ведомственная принадлежность

Правительство Российской Федерации

3.7. ИНН, КПП, ОГРН, ОКТМО

7729082090, 772901001, 1037700258694, 45325000

3.8. Адрес

119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1

3.9. Фактический адрес

119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1

3.10. Субъект Российской Федерации

г Москва

3.11. Должность, фамилия, имя, отчество *(при наличии) руководителя организации*

Ректор, Садовничий Виктор Антонович

3.12. Контактный телефон

+74959394647

3.13. Электронный адрес *(E-mail)*

info@rector.msu.ru

Руководитель организации подтверждает, что:

- ознакомлен с условиями конкурса Фонда и согласен на финансирование проекта, в случае его поддержки, через организацию;
- согласен с пунктами 8, 14, 33, 35, 36 конкурсной документации, иными условиями конкурса;
- подтверждает сведения о руководителе проекта, изложенные в данной заявке;
- организация исполняет обязательства по уплате налогов в бюджеты всех уровней и обязательных платежей в государственные внебюджетные фонды, платежеспособна, не находится в процессе ликвидации, не признана несостоятельной (банкротом), на ее имущество не наложен арест и ее экономическая деятельность не приостановлена;
- в случае признания заявки победителем организация берет на себя следующие обязательства:
 - заключить с членами научного коллектива гражданско-правовые или трудовые (срочные трудовые) договоры;Если таковые не заключены ранее. В случае, если член научного коллектива не является гражданином Российской Федерации, организацией должны быть выполнены все процедуры, предусмотренные законодательством Российской Федерации при трудоустройстве иностранных граждан.

- по поручению руководителя проекта выплачивать членам научного коллектива вознаграждение за выполнение работ по проекту;
- ежегодно в установленные сроки представлять отчет о целевом использовании гранта Российского научного фонда.

Руководитель организации гарантирует, что:

- вознаграждение за выполнение работ по реализации проекта будет ежегодно получать каждый член научного коллектива;
Лица, не являющиеся налоговыми резидентами Российской Федерации, могут осуществлять работы по Проекту на безвозмездной основе (за исключением руководителя проекта).
- общий размер ежегодного вознаграждения члена научного коллектива не будет превышать 30 процентов от суммы ежегодного вознаграждения всем членам научного коллектива;
Включая установленные законодательством Российской Федерации гарантии, отчисления по страховым взносам на обязательное пенсионное страхование, на обязательное медицинское страхование, на обязательное социальное страхование на случай временной нетрудоспособности и в связи с материнством, на обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний.
- общий размер ежегодного вознаграждения членов научного коллектива в возрасте до 39 лет включительно не будет меньше 35 процентов от суммы ежегодного вознаграждения всех членов научного коллектива;
- общее число членов научного коллектива (вместе с руководителем проекта) не будет превышать 10 человек, при этом членом научного коллектива не будет являться работник организации, в непосредственном административном подчинении которого находится руководитель проекта;
- научному коллективу будет предоставлено помещение и обеспечен доступ к имеющейся экспериментальной базе для осуществления научного исследования.

Подпись руководителя организации (уполномоченного представителя, действующего на основании доверенности или распорядительного документа), **печать** (при ее наличии) **организации.**

В случае подписания формы уполномоченным представителем организации (в т.ч. – руководителем филиала) к печатному экземпляру заявки прилагается копия распорядительного документа или доверенности, заверенная печатью организации.

_____/_____/_____
М.П.

Форма 4. Содержание проекта

4.1. Научная проблема, на решение которой направлен проект

на русском языке

Проект направлен на детальный анализ фундаментальных характеристик и наблюдательных проявлений нейтронных звезд, в первую очередь на стадии аккреции.

В эволюционном контексте будет рассмотрена эволюция магнитного поля звезд, влияние её и параметров внешней среды на наблюдательные проявления нейтронных звезд. Физика дисковой аккреции, параметры и условия в двойных системах будут изучены путем моделирования вспышек, происходящих в результате увеличения темпа аккреции на нейтронные звезды и наблюдаемых как очень яркие события. Для сопоставления с теорией в задачах проекта будут использоваться полученные ранее и новые наблюдательные данные. По широкополосным фотометрическим и рентгеновским наблюдениям для рентгеновской двойной системы Her X-1 будет проведено детальное восстановление структуры аккреционного диска и особенностей его взаимодействия с магнитным полем нейтронной звезды, а также исследована свободная прецессия нейтронной звезды.

на английском языке

The project is aimed at a detailed analysis of the fundamental characteristics and observational manifestations of neutron stars, primarily at the stage of accretion.

In an evolutionary context, the evolution of the magnetic field of stars, its influence and parameters of the surrounding environment on the observational manifestations of neutron stars will be considered. The physics of disk accretion, parameters, and conditions in binaries will be studied by simulating outbursts that occur as a result of an increase in the accretion rate onto neutron stars and are observed as very bright events. For comparison with theory the existing and new observational data will be used. Based on broadband photometric and X-ray observations, a detailed reconstruction of the structure of the accretion disk and the features of its interaction with the magnetic field of the neutron star will be carried out, as well as the free precession of a neutron star, will be investigated for the X-ray binary system Her X-1.

4.2. Научная значимость и актуальность решения обозначенной проблемы

на русском языке

Благодаря значительному количеству новых наблюдений (включая обзорные) и вводу в строй более совершенных установок (радиотелескопы, рентгеновские детекторы и т.д.) открываются источники с ранее не наблюдавшимися комбинациями параметров, а также обнаруживаются феномены, требующие более глубокого и детального анализа для их описания. Это относится и к совсем новым явлениям и объектам - таким как быстрые радиовсплески, сверхяркие и миллисекундные рентгеновские пульсары - и к давно изучаемым классам объектов - например, двойным рентгеновским системам.

Наблюдательные проявления нейтронных звезд существенным образом зависят от их магнитных полей и свойств окружающего вещества. В последние годы происходит активное развитие методов теоретического описания магнитных полей нейтронных звезд, а также появляются новые подходы к определению параметров полей по данным наблюдений. Так, например, появляются хорошие количественные модели, учитывающие эволюцию поля в ядре, тороидальное поле в коре, а также мультиполюные составляющие полоидального поля. За последние несколько лет было обнаружено несколько аккрецирующих молодых нейтронных звезд в двойных системах, чей возраст можно определить по остатку сверхновой. С другой стороны, с большой вероятностью обзор всего неба с помощью телескопа eROSITA позволит обнаружить очень старые одиночные аккрецирующие нейтронные звезды. Свойства и тех, и других типов объектов существенно зависят от параметров окружающей среды. Актуальными задачами являются как описание возможной эволюции отдельных молодых нейтронных звезд в двойных системах с быстрым выходом на стадию аккреции (что может быть связано с сильными вариациями плотности окружающего вещества) и эволюции одиночных нейтронных звезд, также выходящих на аккреционный режим (здесь важным может быть пребывание компактных объектов в областях повышенной плотности вещества - например, плотных молекулярных облаках), так и формирование общей картины, где поведение нейтронных звезд разных типов и возрастов находит объяснение с точки зрения единых подходов к физике эволюции магнитного поля и взаимодействия поля и окружающего вещества. Комплексный подход к изучению эволюции нейтронных звезд в свете новых наблюдений должен позволить лучше описать отдельные элементы теоретической картины и протестировать их по данным о конкретных источниках.

Аккрецирующие рентгеновские источники, являясь наиболее яркими объектами на небе, дают большое количество наблюдательных данных и представляют собой исключительно удобную лабораторию для изучения физики и аккреционных дисков и компактных объектов, с возможностью проверки разных теоретических сценариев. Каждый год вспыхивает около 10 рентгеновских транзиентов в ближней Вселенной (Soderberg et al. 2009 arXiv:0902.3674 Astro2010 SSE panel White Paper). Не останавливается также проектирование будущих рентгеновских миссий, которые произведут огромный массив спектральных и временных данных высокого разрешения (от XRISM, Athena, Colibri до STROBE-X и Lynx), несущих информацию о структуре диска и дискового ветра. Грядущий ввод в строй нового оптического инструмента с большой собирающей площадью и широким полем зрения - LSST, - поможет массово осуществлять их оптическое сопровождение, а также проводить исследования в периоды спокойствия. Самые современные компьютерные ресурсы и методы направляются на моделирование физики взаимодействия вещества диска и магнитных полей. Будущие поляриметрические рентгеновские миссии (POLIX, IXPE, XPP, REDSoX, eXTP, Polaris) должны пролить свет на структуру магнитного поля и процессы рассеяния в системах без сферической симметрии, что включает и аккреционные диски. При этом сравнение новых наблюдательных данных аккрецирующих транзиентов должно опираться на хорошо разработанный фундамент - физически обоснованную модель нестационарного аккреционного диска, а в случае центральной нейтронной звезды, - учитывающую особенности аккреции в ситуации магнитосферного обрезания диска.

Большую роль в астрофизике играют отдельные объекты, для которых с одной стороны накоплен большой объем данных, а с другой - у них наблюдается интересный комплекс феноменов. В астрофизике аккрецирующих нейтронных звезд к таким выделенным источникам относится Her X-1. Рентгеновский пульсар Her X-1, постоянно излучающий в результате мощного перетекания вещества на нейтронную звезду со звезды-компаньона, представляет огромный интерес, так как в этой затменной системе есть возможность детально изучить динамику и геометрические параметры диска. Оказывается, диск имеет изгибающую структуру и прецессирует, и определяющую роль в этой картине имеет центральная нейтронная звезда. Таким образом, сейчас осуществляется возможность сравнить динамику изгибающего диска в разных астрофизических источниках: молодые звезды, звезды и компактные объекты. Важно подчеркнуть, что изучение физики изгибающих дисков актуально не только в контексте тесных двойных систем. Так, например, в последнее время в связи с появлением новых наблюдений особое внимание привлекают нестационарные изгибающие диски, которые образуются в результате приливного разрушения звезд вблизи сверхмассивных черных дыр. Т.о., реализация нашего проекта позволит пролить свет и на некоторые особенности поведения этих объектов. Тем более, что благодаря обзорам неба с помощью ART-XC и eROSITA будет обнаружено большое количество случаев приливного разрыва звезд черными дырами.

на английском языке

Thanks to a significant number of new observations (including surveys) and the launching of advanced facilities (radio telescopes, X-ray detectors, etc.), sources with previously unobserved features are being discovered, and phenomena that require deeper analysis to describe them are discovered. This also applies to completely new phenomena and objects - such as fast radio bursts, superluminous and millisecond X-ray pulsars - and to long explored classes of objects - for example, binary X-ray systems.

Observational manifestations of neutron stars essentially depend on their magnetic fields and the properties of the surrounding matter. In recent years, methods for the theoretical description of the magnetic fields of neutron stars have been actively developed, and new approaches to determining the field parameters from observational data have appeared. Thus, extensive models exist now that take into account the evolution of the field in the core, the toroidal field in the crust, and the multipole components of the poloidal field. Over the past few years, several accreting young neutron stars have been discovered in binary systems whose ages can be determined from supernova remnants. On the other hand, the eROSITA all-sky survey is likely to reveal very old single accreting neutron stars. The properties of the both types of objects depend significantly on the parameters of the environment. Scientific topics in this context include the description of the possible evolution of individual young neutron stars in binary systems with a rapid onset of accretion and the evolution of isolated neutron stars also entering the accretion stage (in regions of increased density, for example, in dense molecular clouds) and the formation of a general picture, where the behavior of neutron stars of different types and ages is explained in terms of a unified approach to the physics of the evolution of the magnetic field and the interaction of the field and surrounding matter. In the light of new observations, an integrated approach to the evolution of neutron stars should make it possible to better

describe individual elements of the theoretical picture and test them using data on specific sources.

Accreting X-ray sources, being the brightest objects in the sky, provide a large amount of observational data and represent an extremely convenient laboratory for studying physics of both accretion disks and compact objects, when various theoretical scenarios may be tested. About 10 X-ray transients in the nearby Universe burst up every year (Soderberg et al. 2009 arXiv: 0902.3674 Astro2010 SSE panel White Paper). Future X-ray missions (from XRISM, Athena, Colibri to STROBE-X and Lynx) will produce a huge amount of high-resolution spectral and timing data and yield new information about the structure of disks. The upcoming new optical instrument with a large collecting area and a wide field of view - LSST - will help to carry out optical follow-up as well as conduct research during quiescent periods. The most modern computer resources and methods are directed towards modeling the physics of the interaction of disk matter and magnetic fields. Future polarimetric X-ray missions (POLIX, IXPE, XPP, REDSoX, eXTP, PolariS) should shed light on the magnetic field structure and scattering processes in systems without spherical symmetry, accretion disks as well. Evidently, the comparison of new observational data of accreting transients should be based on a well-developed foundation - a physically substantiated model of a non-stationary accretion disk, which experiences a magnetospheric cutoff, when the compact object is a magnetized neutron star.

Individual objects play an important role in astrophysics when, on the one hand, a large amount of data has been accumulated and, on the other hand, they have an interesting complex of phenomena. In astrophysics of accreting neutron stars, Her X-1 is one of such distinguished sources. The X-ray pulsar Her X-1, constantly emitting due to a strong matter transfer onto a neutron star from a companion star, is of great interest, since in this eclipsing system it is possible to study in detail the dynamics and geometric parameters of the disk. It turns out that the disk has a warped shape and precesses, while the central neutron star plays a decisive role in this picture. It is now possible to compare the dynamics of warped disks in different astrophysical sources: young stars, stars, and compact objects. It is important to emphasize that the study of warped disks is relevant not only in the context of close binary systems. For example, recently, in connection with the emergence of new observations, special attention has been attracted to non-stationary warped disks formed as a result of tidal destruction of stars near supermassive black holes. Thus, the implementation of our project will shed light on some of the behavior of these objects. Moreover, thanks to the sky surveys using ART-XC and eROSITA, a large number of tidal disruption events near supermassive black holes will be detected.

4.3. Конкретная задача (задачи) в рамках проблемы, на решение которой направлен проект, ее масштаб и комплексность

на русском языке

I Моделирование магнито-вращательной эволюции нейтронных звезд с учетом изменения магнитного поля и характеристик окружающего вещества.

Мы планируем рассмотреть эволюцию различных типов нейтронных звезд, в том числе с приложением к конкретным наблюдаемым источникам. В первую очередь будет рассмотрена эволюция молодых нейтронных звезд в двойных системах, выходящих на стадию аккреции за время $\lesssim 10\,000$ лет. Конкретным примером таких объектов является система XMMU J051342.6-672412 (Ho et al. 2020, MNRAS 494, 44), связанная с остатком сверхновой с возрастом около 4000 лет. Для изучения поведения молодых нейтронных звезд важен учет относительно быстрой эволюции магнитного поля в этот период. Мы планируем продолжить наши исследования изменения магнитных полей пульсаров, магнитаров и других типов молодых нейтронных звезд. Эти работы помогут более комплексно подойти к проблеме описания магнито-вращательной эволюции.

Исследования молодых объектов должны быть дополнены изучением свойств старых объектов. Здесь основные надежды возлагаются нами на результаты обзора eROSITA. Сделанные ранее оценки (в том числе и в наших работах - Boldin Popov 2010, MNRAS 407, 1090; Popov, Postnov, Shakura 2015, MNRAS 447, 2817) показывают, что обнаружение одиночных аккрецирующих нейтронных звезд в обзоре неба с помощью спутника Спектр-РГ весьма вероятно. Мы планируем уточнить критерии поиска одиночных аккрецирующих нейтронных звезд в данных eROSITA на основе более детальных моделей их эволюции.

Наконец, в число задач входит изучение параметров быстрых радиовсплесков в рамках магнитарной модели. В 2020 г. впервые были одновременно зарегистрированы радио и гамма всплески от одного из галактических магнитаров. Это является серьезным аргументом в пользу магнитарной модели, предложенной в 2007 г. (Popov, Postnov 2007 arXiv:0710.2006). Рост объема наблюдательных данных должен позволить проводить более детальное популяционное

моделирование источников быстрых радио всплесков. Нами планируется использовать новые результаты по эволюции магнитных полей молодых нейтронных звезд для источников быстрых радиовсплесков методом популяционного синтеза.

Таким образом, в предлагаемой программе исследований будет охвачен широкий круг астрономических источников и явлений в рамках описания, основанного на едином подходе к магнито-вращательной эволюции нейтронных звезд.

II Моделирование кривых блеска вспышек рентгеновских транзиентов с замагниченными нейтронными звездами в рентгеновском и оптических диапазонах.

Параметры компактного объекта, физические условия в двойной системе, переизлучение центрального рентгена диском и звездой-компаньоном определяют вид кривых блеска рентгеновских транзиентов во время вспышек. В первую очередь, необходимо как можно более исчерпывающее понимание механизмов, приводящих к базовым (простым) типам кривых блеска. Это фундамент для понимания более сложных процессов. Нами уже разработан код для расчета эволюции и моделированию кривых блеска в рентгеновских новых с черными дырами. В рамках проекта мы предлагаем существенно расширить данный код для включения случая аккреции на нейтронные звезды и решить ряд конкретных задач с использованием модулей этого кода, в частности, с привлечением наблюдательных данных. Код будет включать в себя самосогласованное моделирование глобальной эволюции аккреционного диска, учитывая все принципиальные процессы, влияющие на изменение темпа аккреции во время вспышки и на формирование спектра теплового излучения диска. Они включают в себя: постановку специальных граничных условий для описания моделей взаимодействия магнитного поля нейтронной звезды и вещества диска, расчет вертикальной структуры диска для обеспечения необходимой связи между параметрами диска при решении уравнения вязкой эволюции, ньютоновское и пост-ньютоновское приближение для расчета потока излучения с поверхности вращающейся нейтронной звезды, облучение диска и звезды-компаньона потоком от центральной его части и с поверхности нейтронной звезды. Кроме разработки самого кода, открытого для использования научным сообществом, что является самим по себе важным результатом, поставлены следующие цели:

- Определить, как выбор модели взаимодействия магнитосферы и вещества диска, а также наклонение магнитной оси нейтронной звезды к плоскости диска влияет на вид кривых блеска.
- Используя наблюдательные данные по вспышкам в аккрецирующих источниках, обнаружить те, в которых проявляются качественные изменения внутренней структуры диска при расширении магнитосферы до радиуса коротации (эффект "пропеллера").
- Разработать эффективный метод расчета перехвата и переработки рентгена диском, звездой-компаньоном и другими возможными компонентами двойной системы и определить количественные характеристики этого эффекта во время вспышек в конкретных событиях.

III Детальное восстановление физических характеристик диска и нейтронной звезды в особо интересной рентгеновской двойной системе Her X-1 с использованием современных наблюдательных данных.

--- Моделирование главных минимумов оптических кривых блеска рентгеновской двойной системы HZ Her/Her X-1. Главный минимум оптической кривой блеска системы обусловлен затмением аккреционного диска и рентгеновского источника звездой-донором. Во время затмения прогретая рентгеновским излучением часть звезды также поворачивается в сторону от наблюдателя, таким образом, в середине затмения видна только относительно холодная непрогретая часть звезды. Наибольший интерес для исследования представляют фазы закрытия диска и его открытия, поскольку звезда-донор постепенно закрывает разные части диска с разной температурой, что проявляется на кривой блеска. Моделирование нисходящей и восходящей ветви кривой блеска возле минимума позволяют восстановить распределение температуры по поверхности аккреционного диска и его форму. Отдельно нужно указать, что диск в системе HZ Her/Her X-1 наклонён к орбитальной плоскости под углом 10-15 градусов и прецессирует с периодом около 35 дней. Это позволяет, используя наблюдения минимумов в разные фазы 35-дневного цикла, восстановить форму и распределение температуры по поверхности диска для различных его положений относительно наблюдателя. На разных фазах 35-дневного цикла распределение температуры по поверхности диска должно быть разным, поскольку во-первых, меняется наклон внутреннего диска относительно внешнего, то есть меняется размер области затенения внешних частей диска от рентгеновского источника, во-вторых, меняется положение горячего пятна от взаимодействия с аккреционной струей.

--- Анализ и моделирование механизма синхронизации периода свободной прецессии нейтронной звезды и прецессии аккреционного диска в HZ Her/Her X-1. С конца 70-х годов 20 века известно о существовании ретроградной прецессии наклонного аккреционного диска. В работе Truemper et al. 1986, ApJL 300, L63 анализ наблюдений на рентгеновском спутнике EXOSAT показал периодическое изменение формы профилей рентгеновских импульсов. Период изменения оказался также равен 35 дням. В этой же работе был предложен механизм свободной прецессии нейтронной звезды как возможное объяснение эволюции формы профилей. Ещё позже, детальные наблюдения рентгеновских импульсов на спутнике RXTE позволили восстановить расположение горячих деталей излучающих рентген на поверхности нейтронной звезды в рамках модели свободной прецессии (Postnov et al. 2013 MNRAS 435, 1147). Равенство периодов свободной прецессии нейтронной звезды и прецессии аккреционного диска должно быть обусловлено механизмом синхронизации, качественное обсуждение которого было сделано в работе Kolesnikov et al. 2020 MNRAS 499, 1747, однако его детали остаются неисследованными. Мы предлагаем разработать модель, в которой синхронизация происходит через аккреционные струи, выходящие из орбитальной плоскости и взаимодействующие с диском под углом к его верхней и нижней поверхностям. Вектор начальной скорости струи определяется градиентом давления вблизи точки Лагранжа, который, в свою очередь, определяется рентгеновским прогревом и положением рентгеновской тени от аккреционного диска. От точки Лагранжа до диска струи движутся по баллистическим траекториям.

--- Анализ и моделирование вариации периода рентгеновских импульсов Her X-1. Модель свободной прецессии нейтронной звезды в системе Her X-1 предполагает существование вариации периода пульсаций с фазой прецессионного цикла. На фазе 35-дневного цикла с максимальным наблюдаемым рентгеновским потоком, т.н. "main-on", вариации периода вращения нейтронной звезде связанной со свободной прецессией составляют порядка микросекунды. Значение периода пульсара на современных приборах определяется с точностью порядка долей микросекунды. На плавные изменения периода, связанные со свободной прецессией нейтронной звезды накладываются случайные изменения, связанные с нестационарностью дисковой аккреции и потрескиванием коры нейтронной звезды. Мы предлагаем разработать модель свободно-прецессирующей нейтронной звезды с учетом сложного набора излучающих рентген-деталей на ее поверхности для моделирования вариаций прихода рентгеновских импульсов с точностью порядка долей микросекунды.

на английском языке

I Modeling the magnetic-rotational evolution of neutron stars addressing the variations of the magnetic field and characteristics of the surrounding matter.

We plan to consider the evolution of various types of neutron stars and applications to specific observed sources. First of all, the evolution of young neutron stars in binary systems entering the accretion stage during $\sim 10,000$ years will be considered. A specific example of such objects is the XMMU J051342.6-672412 system (Ho et al. 2020, MNRAS 494, 44), associated with a supernova remnant with an age of about 4000 years. To study the behavior of young neutron stars, it is important to take into account the relatively rapid evolution of the magnetic field during this period. We plan to continue our research on the evolution of magnetic fields of pulsars, magnetars, and other types of young neutron stars - this will enable a more integrative and comprehensive approach to describing the magneto-rotational evolution.

Research on young objects should be supplemented by studying the properties of old objects. Here, we pin our hopes on the results of the eROSITA survey. Previous estimates (including those made in our works - Boldin Popov 2010, MNRAS 407, 1090; Popov, Postnov, Shakura 2015, MNRAS 447, 2817) show that detection of isolated accreting neutron stars in the survey performed by the Spektr-RG is very likely. We plan to refine the search criteria for isolated accreting neutron stars in the eROSITA data using more detailed models of their evolution.

Finally, one of the tasks is to study the parameters of fast radio bursts within the framework of the magnetar model. In 2020, for the first time, radio and gamma-ray bursts from one of the galactic magnetars were simultaneously recorded. This is a strong argument in favor of the magnetar model proposed in 2007 (Popov, Postnov 2007 arXiv: 0710.2006). The growth in the amount of observational data should allow more detailed population synthesis of the sources of fast radio bursts. We plan to use new results on the evolution of magnetic fields of young neutron stars in a study of sources of fast radio bursts by the population synthesis method.

Thus, the proposed research program will cover a wide range of astronomical sources and phenomena within the framework of a description based on a unified approach to the magneto-rotational evolution of neutron stars.

II Simulation of light curves of X-ray transient outbursts with magnetized neutron stars in the X-ray and optical ranges.

The parameters of a compact object, physical conditions in the binary system, reprocessing of the central X-rays by the disk and the companion star determine the light curves of X-ray transients during outbursts. First of all, it is necessary to have the most comprehensive understanding of the mechanisms leading to the basic (simple) types of light curves. This is the foundation for understanding more complex processes. We have already developed a code to calculate the evolution and simulate light curves in X-ray novae with black holes. Within the framework of the project, we propose to significantly expand the code to include the case of accretion onto neutron stars and to solve a number of specific problems using the modules of this code and observational data. The code will include self-consistent modeling of the global evolution of the accretion disk, taking into account all the fundamental processes that affect the change in the accretion rate during an outburst and the formation of the thermal emission spectrum of the disk. They include: setting special boundary conditions to describe interaction between the magnetic field of a neutron star and disk matter, calculating the vertical structure of the disk to provide the necessary connection between the disk parameters when solving the viscous evolution equation, Newtonian and post-Newtonian approximations for calculating the radiation flux from the surface a rotating neutron star, irradiation of the disk and companion star by a flux from the disk central part and from the surface of the neutron star. In addition to developing the code itself, which will be opened for use by the scientific community (an important result in itself), the following goals have been set:

--- Determine how the choice of a model for the interaction of the magnetosphere and disk matter, as well as the inclination of the magnetic axis of the neutron star to the plane of the disk, affects the shape of the light curves.

--- Using observational data on outbursts in accreting sources, find those in which qualitative changes in the internal structure of the disk are manifested as the magnetosphere expands to the corotation radius (the "propeller" effect).

--- Develop an effective method for calculating the interception and processing of X-rays by a disk, a companion star, and other possible components of the binary system and determine the quantitative characteristics of this effect during outbursts using observational data.

III Detailed reconstruction of the physical characteristics of the disk and neutron star in a particularly interesting X-ray binary system Her X-1 using modern observational data.

--- Modeling the main minima of the optical light curves of the X-ray binary system HZ Her / Her X-1. The main minimum of the optical light curve of the system is due to the eclipse of the accretion disk and X-ray source by the donor star. During an eclipse, the part of the star heated by X-ray radiation also turns away from the observer, thus, in the middle of the eclipse, only a relatively cold, unheated part of the star is visible. The phases of disk closure and opening are of the greatest interest for research, since the donor star gradually closes different parts of the disk with different temperatures, which is manifested in the light curve. Modeling the descending and ascending branches of the light curve near the minimum allows one to reconstruct the temperature distribution over the surface of the accretion disk and its shape. Separately, it should be noted that the disk in the HZ Her / Her X-1 system is inclined to the orbital plane at an angle of 10-15 degrees and precesses with a period of about 35 days. This makes it possible, using observations of minima in different phases of the 35-day cycle, to reconstruct the shape and temperature distribution over the disk surface for its various positions relative to the observer. At different phases of the 35-day cycle, the temperature distribution over the disk surface should be different because, firstly, the inclination of the inner disk relative to the outer disk changes, that is, the size of the region of the disk, which is shaded from the X-rays, changes, and secondly, the hot spot, formed due to interaction with an accretion stream, shifts.

--- Study of synchronization mechanism of the period of free precession of a neutron star and the precession of the accretion disk in HZ Her / Her X-1. Since the late 70s of the 20th century, the existence of a retrograde precession of an oblique accretion disk has been known. Truemper et al. (1986, ApJL 300, L63) analysed observations by the EXOSAT X-ray satellite and found periodic changes in the shape of the X-ray pulse profiles. The change period was also 35 days. In the same work, the mechanism of free precession of a neutron star was proposed as a possible explanation for the evolution of the profile shape. Later, detailed observations of X-ray pulses with the RXTE led to reconstruction of the location of hot features emitting X-rays on the surface of a neutron star within the framework of the free precession model (Postnov et al. 2013 MNRAS 435, 1147). The equality of the periods of the free precession of the neutron star and the precession of the accretion disk should be due to the synchronization mechanism, as discussed in the work of Kolesnikov et al. (2020 MNRAS 499, 1747),

however its details remain unexplored. We propose to develop a model in which the synchronization occurs because of accretion streams moving from the orbital plane and interacting with the disk at some angle to its upper and lower surfaces. The vector of the initial stream velocity is determined by the pressure gradient near the 1st Lagrange point, which, in turn, is determined by the X-ray heating and the position of the X-ray shadow from the accretion disk. From the Lagrange point to the disk, the streams move along ballistic trajectories.

--- Study of variations in the period of X-ray pulses of Her X-1. The model of free precession of a neutron star in the Her X-1 assumes the existence of a variation of the pulsation period with the phase of the precessional cycle. At the phase of the 35-day cycle with the maximum X-ray flux, so-called "Main-on", variations in the rotation period of a neutron star associated with free precession are on the order of a microsecond. Currently, the value of the pulsar period can be determined with an accuracy of the order of a fraction of a microsecond. The gradual changes in the period associated with free precession of the neutron star are superimposed by random changes associated with the non-stationarity of disk accretion and the crackling of the neutron star crust. We propose to develop a model of a free-precessing neutron star taking into account a complex set of emitting X-ray details on its surface to simulate variations in the arrival of X-ray pulses with an accuracy of the order of a fraction of a microsecond.

4.4. Научная новизна исследований, обоснование достижимости решения поставленной задачи (задач) и возможности получения предполагаемых результатов

на русском языке

I Предлагаемые задачи по изучению магнито-вращательной эволюции нейтронных звезд или предполагают анализ эволюции недавно открытых источников (рентгеновские двойные в остатках сверхновых, источники быстрых радиовсплесков) в рамках еще не обсуждавшихся для них подходов, или же основаны на применении новых моделей (например, эволюции магнитного поля), которые еще не были в достаточной степени использованы для описания эволюции тех или иных классов объектов или отдельных источников. Т.о., все предполагаемые исследования являются новыми.

Опыт участников проекта в области популяционного синтеза и моделировании магнито-вращательной эволюции нейтронных звезд, а также в изучении быстрых радиовсплесков, свидетельствует о том, что предлагаемые в рамках проекта задачи являются осуществимыми. В проект не закладывается необходимость получения принципиально новых результатов третьими лицами. Мы исходим из существующих теоретических результатов (например, моделей магнитных полей и их эволюции), если предполагаем их применение в рамках наших новых моделей, и мы формулируем задачи на основе уже получаемых данных (наблюдения быстрых радиовсплесков, рентгеновских двойных, идущий обзор неба на спутнике Спектр-РГ).

II Новизна задачи расчета вспышек в дисках вокруг замагниченных нейтронных звезд состоит в использовании оригинального кода расчета эволюции вязкого диска, который будет включать необходимые компоненты для описания взаимодействия диска с центральной замагниченной звездой. Для иллюстрации того, что, если учитывать все необходимые факторы эволюции, то можно получить наблюдаемый характерный вид кривых блеска, мы рассчитали кривые блеска, ожидаемые от источника с номинальными параметрами, в котором происходит постепенное прекращение входа аккреционного потока в магнитосферу (см. Пункт 4.13, файл plato.pdf). Такой результат получен впервые в мире. Будущая реализация кода основана на предыдущей его версии, предназначенной для расчета кривых блеска при аккреции на черные дыры, которая отлажена и находится в свободном доступе для использования научным сообществом (Маланчев и Липунова 2016, *Astrophysics Source Code Library*, record ascl:1610.01; Липунова и Маланчев 2017, *MNRAS* 468, 4735). В основе кода лежит численное решение уравнения эволюции аккреционного диска, описывающее динамику диска на вязких временах. Код включает в себя возможность учета самооблучения диска, уменьшения размера зоны полной ионизации, истечения ветра с поверхности диска. Реализация нового модуля (для нейтронных звезд) будет основана на использовании широко признанных теоретических результатах работ других групп. Эти работы перечислены в пункте 4.6 настоящей заявки (Предлагаемые методы). Таким образом будут выбраны специальные граничные условия на внутренней границе диска, будет произведен учет излучения с поверхности нейтронной звезды. В группе есть опыт и результаты по учету самооблучения диска с центральным рентгеновским источником (например, работа в соавторстве Мещеряков, Шакура, Сулейманов, 2011, Письма в АЖ, 37, 311). Модуль расчета потока облученной оптической звезды-компаньона опирается на результаты, полученные в рамках настоящей группы заявителей (Kolesnikov et al. 2020 *MNRAS*, 499, 1747).

III Будет решен ряд новых задач, раскрывающих физику процессов, происходящих в рентгеновской двойной Her X-1.

--- Моделирование оптических кривых блеска Her X-1 вблизи главного минимума позволит впервые восстановить распределение температуры по поверхности в модели изгибного аккреционного диска с облучением и горячими пятнами. На данный момент накоплено большое количество непрерывных высокоточных измерений блеска вблизи главного минимума на различных фазах 35-дневного цикла. Разработана и отлажена программа синтеза кривых блеска (Kolesnikov et al. 2020 MNRAS 499, 1747), с заложенной гибкой моделью диска. Пример расчета эффективной температуры в двойной системе Her X-1 приведен в пункте 4.14 (файл HerX-1.pdf). Отлажена методика оптимизации параметров при моделировании наблюдаемых данных. Высокая скорость работы программы позволяет исследовать широкий диапазон параметров на рабочей станции адекватной мощности за разумное время.

--- Наблюдаемая синхронизация периодов свободной прецессии нейтронной звезды и прецессии аккреционного диска в Her X-1 до сих пор не имеет детальной модели. Мы предлагаем разработать модель, которая не предполагает привлечения сложных гидродинамических расчетов, что значительно упрощает ее осуществление и анализ.

--- Исследования вариации прихода рентгеновских импульсов и формы импульсов стали особенно актуальными после начала работы космических обсерваторий Fermi/GBM, RXTE/PCA, NICER. Данные, полученные этими обсерваториями, позволили восстановить расположение излучающих в рентгене горячих пятен на поверхности нейтронной звезды (см., напр., Postnov et al. 2013 MNRAS 435, 1147; Riley et al. ApJL 2019, 887, L21). В результате можно определять параметры нейтронных звезд, необходимые для выяснения их внутренней структуры. Изучение формы профилей и вариации прихода рентгеновских импульсов свободно-прецессирующих нейтронных звезд является логичным продолжением таких исследований. Данные о вариации прихода рентгеновских импульсов находятся в открытом доступе, а модель свободной прецессии может быть полностью аналитической, что делает возможным комплексное исследование её параметров.

Перечисленные выше аргументы приводят нас к выводу о реалистичности сформулированной программы исследований.

на английском языке

I The project tasks for studying the magnetic-rotational evolution of neutron stars are new. They either involve the analysis of the evolution of recently discovered sources (X-ray binaries in supernova remnants, sources of fast radio bursts) using approaches that have not yet been applied for them, or are based on the use of new models (for example, evolution of the magnetic field), which have not yet been sufficiently used to describe the evolution of certain classes of objects or individual sources. The distinct experience of project participants in the field of population synthesis and modeling of the magnetic-rotational evolution of neutron stars, as well as in the study of fast radio bursts, indicates that the tasks proposed in the project are feasible. The tasks do not include the need for third parties to obtain new results. We proceed from existing theoretical results (for example, models of magnetic fields and their evolution) in developing our new models, and we formulate problems based on the data already obtained or in progress (observations of fast radio bursts, X-ray binaries, the ongoing sky survey on the Spectrum-RG satellite).

II The novelty of the task of calculating outbursts in disks around magnetized neutron stars consists in the use of an original code for simulating the evolution of a viscous disk, which will include the necessary components to describe interaction of the disk with a central magnetized star. The future implementation of the code is based on its previous version, designed to calculate light curves for accretion onto black holes, which is freely available for use by the scientific community (Malanchev and Lipunova 2016, Astrophysics Source Code Library, record ascl: 1610.01; Lipunova and Malanchev 2017, MNRAS 468, 4735). The code is based on the numerical solution of the equation of evolution of the accretion disk, which describes the dynamics of the disk on viscous times. The code includes the possibility to take into account the self-irradiation of the disk, reduce the size of the zone of full ionization using a physical condition, and launch the outflow of wind from the disk surface. The implementation of the new module (for neutron stars) will be based on widely recognized theoretical results. These works are listed in paragraph 4.6 of this application (Proposed methods). Thus, special boundary conditions will be chosen at the inner boundary of the disk, and radiation from the surface of the neutron star will be taken into account. The participants of the project have deep understanding and experience with self-irradiation of a disk by a central X-ray source (Meshcheryakov, Shakura, Suleimanov, 2011, Astronomy Letters, 37, 311). The module for calculating the flux of an illuminated optical companion is based on the results obtained by the applicants (Kolesnikov et al. 2020 MNRAS, 499, 1747).

To show feasibility of our approach, we have calculated preliminary light curves expected from a source with nominal parameters assuming that the penetration of the accretion flow into the magnetosphere eventually stops (see section 4.13,

file plato.pdf). The light curves show an essential drop - which is not assumed but obtained as a solution. Such a result is obtained for the first time.

III A number of new problems of the physics of X-ray binary Her X-1 will be solved:

--- Modeling the optical light curves of Her X-1 near the main minimum will allow for the first time to reconstruct the temperature distribution over the disk surface in the model of a warped accretion disk with irradiation and hot spots. At the moment, a large number of continuous high-precision measurements of brightness near the main minimum have been accumulated at various phases of the 35-day cycle. A computer program for the synthesis of light curves was developed and debugged (Kolesnikov et al. 2020 MNRAS 499, 1747), with a flexible disk model. An example of calculating the effective temperature in the Her X-1 binary system is given in Section 4.14 (file HerX-1.pdf). The technique of optimizing the model parameters to fit the observed data has been developed. The high speed of the program allows us to explore a wide range of parameters.

--- The observed synchronization of the periods of the free precession of the neutron star and the precession of the accretion disk in Her X-1 still does not have a detailed model. We propose to develop a model that does not involve complex hydrodynamic calculations. This will greatly simplify its implementation and analysis.

--- Investigation of the variation in the arrival of X-ray pulses and the shape of the pulses became especially relevant after the launch of the space observatories Fermi / GBM, RXTE / PCA, NICER. The data obtained by these observatories made it possible to reconstruct the location of X-ray emitting hot spots on the surface of a neutron star (see, for example, Postnov et al. 2013 MNRAS 435, 1147; Riley et al. ApJL 2019, 887, L21). As a result, it is possible to determine the parameters of neutron stars directly related to details of their internal structure. The study of the shape of the profiles and variations in the arrival of X-ray pulses of free-precessing neutron stars is a logical continuation of such studies. Data on the variations in the arrival of X-ray pulses are publicly available, and the free precession model can be fully analytical, which makes it possible to comprehensively study its parameters.

The above arguments lead us to the conclusion that the formulated research program is realistic.

4.5. Современное состояние исследований по данной проблеме, основные направления исследований в мировой науке и научные конкуренты

на русском языке

I

--- С одной стороны, многие современные подходы к описанию магнито-вращательной эволюции нейтронных звезд основываются на классических работах 1970-80х гг. С другой стороны, обнаружение источников новых типов требует модификации сценариев эволюции или выбора нестандартных начальных параметров. Так, для описания источника SXP1062 предлагались сценарии с быстрым затуханием поля (Popov, Turolla 2012, MNRAS 421, L127), а также сценарии с большим начальным периодом вращения (Haberl et al. 2012, A&A 537, L1). Открытие этой системы вызвало большой интерес к рентгеновским двойным с быстрым выходом на стадию аккреции. Недавно была обнаружена еще одна рентгеновская двойная (XMMU J051342.6-672412), связанная с еще более молодым остатком сверхновой - MCSNR J0513-672 (Maitra et al. 2019, MNRAS 490, 5494), что также вызвало интерес теоретиков (Ho et al. 2020, MNRAS 494, 44). Мы ожидаем, что разработка моделей эволюции и аккреции для одиночных нейтронных звезд вызовет в ближайшем будущем большой интерес, так как в результате работы Спектр-РГ появится новый каталог слабых источников, гораздо более глубокий, чем у ROSAT, что неизбежно приведет к новым работам по поиску кандидатов в одиночные аккрецирующие нейтронные звезды. Это делает предлагаемые задачи особенно актуальными. Кроме того, активно разрабатываются модели аккреции на одиночных черные дыры звездных масс из межзвездной среды, например в приложении к проекту Миллиметрон (см., например, Ivanov et al. 2019, MNRAS 489, 2038 и ссылки в этой работе), что также связано с тематикой проекта, и возможно взаимное обогащение двух направлений исследований при интенсификации расчетов для одиночных нейтронных звезд.

--- Исследование эволюции магнитных полей нейтронных звезд переживает период бурного развития. В разных странах работает несколько групп, разрабатывающих детали процесса изменения конфигурации полей и их напряженности. Особо стоит выделить работы в ФТИ им. Иоффе по учету эволюции поля в ядрах нейтронных звезд (см.

Gusakov et al. 2020, MNRAS accepted и ссылки там). Соответственно, развиваются подходы по поиску наблюдательных проявлений различных аспектов эволюции полей. Так в работе De Grandis et al. (2020, ApJ accepted) развивается подход, предложенный в статье Popov et al. (2017, MNRAS 464, 4390) по использованию данных о тепловом излучении нейтронных звезд для поиска проявлений стадии холловского аттрактора.

--- Наконец, быстрые радиовсплески остаются одной из самых горячих областей астрофизики. Быстрые радиовсплески – это короткие (от нескольких миллисекунд до десятков миллисекунд) яркие (потоки в максимуме бывают выше ~ 100 Ян) радиовспышки (см. обзор в Попов, Постнов, Пширков 2018 УФН 188, 1063). Первое событие было представлено в 2007 г. в работе Lorimer et al. (2007, Science 318, 777). С тех пор обнаружено более ста всплесков (не считая повторные события от одного и того же источника), включенных в онлайн-каталог <http://www.frbcatalog.org>. Большая мера дисперсии, а также ряд других соображений, говорит о внегалактическом происхождении этого явления. Более чем для десятка источников измерена линейная и/или круговая поляризация. В редких случаях удается также измерить меру вращения. До недавнего времени надежная идентификация была сделана лишь для единственного на тот момент источника повторных быстрых радиовсплесков – FRB 121102. Источник находится в карликовой галактике с активным звездообразованием на красном смещении $z=0.193$ (фотометрическое расстояние 972 Мпк). Сейчас для еще нескольких источников (причем, не только повторяющихся) отождествлены материнские галактики разных типов. Было предложено огромное количество моделей, объясняющих природу FRB (см. "каталог моделей" в обзоре Platts et al. 2018, arXiv:1810.05836). Это отражает широкий диапазон неопределенностей в описании природы этих объектов. Наиболее перспективные модели связаны со вспышечным излучением магнитаров – нейтронных звезд, чья активность связана с диссипацией энергии их магнитных полей. Важным подтверждением этой модели стала регистрация быстрого радиовсплеска от галактического магнитара (Bochenek et al., 2020, Nature, 587, 59, CHIME collaboration 2020, Nature 587, 54), сопровождавшаяся рентгеновской вспышкой (см., например, результаты Конус-Wind в Ridnaia et al. 2020 Nature Astronomy, accepted). Начинают появляться и работы по популяционному синтезу всплесков (см., например, Wadiasingh et al. 2019, ApJ 891, 82 и ссылки в ней).

II Современные астрономические инструменты дают все более детальную информацию о спектральных и временных характеристиках, наблюдаемых во время вспышек транзиентных источников с аккрецией. Кроме того, идет разработка проектов будущих миссий, о которых упоминалось в пункте 4.2. Теоретические исследования этих источников также идут во многих направлениях. Перечислим те, которые наиболее близки к теме нашей задачи:

--- Численное двумерное моделирование нестационарных аккреционных дисков вокруг компактных объектов, в основном ведущееся группой авторов на основе закрытого кода (см., например, Dubus et al 1999, MNRAS, 303, 139; Dubus et al. 2001, A&A, 373, 251; Lasota 2001, New Astronomy Rev., 45, 449 Hameury 2020, Advances in Space Research 66, 1004). Подход этой группы заключается в одновременном расчете радиальной и вертикальной структуры, что, естественно, позволяет моделировать долговременную эволюцию транзиентов в высоком и спокойном состояниях, но и требует больших расчетных ресурсов. Надо заметить, что данный подход также подразумевает определенную параметризацию, основанную на эмпирическом оценивании закладываемых параметров.

--- Численное трехмерное моделирование взаимодействия аккрецирующего вещества и магнитосферы - например, в работах Romanova et al. (2012, MNRAS 421, 63), Ustyugova et al. (2006, ApJ, 646, 304); Zanni & Ferreira (2013 A&A, 550, A99); Parfrey et al. (2017 MNRAS, 469, 3656). Эти работы позволяют приблизиться к представлению о сложных эффектах за пределами одномерного аналитического анализа и к оценке их влияния на глобальную вязкую эволюцию диска. Показано, в частности, что характер аккреционного потока становится существенно неустойчивым при приближении внутреннего радиуса диска к радиусу коротации. Если радиус диска больше радиуса коротации, идет накопление вещества, которое заканчивается выбросом и аккрецией вещества при одновременном перезамыкании силовых линий магнитного поля. Аккреционные струи имеют несимметричную структуру и по вертикальной координате и по азимуту. Например, Romanova et al. (2018) получают, что внутренний радиус диска варьируется на временных масштабах порядка 0.1 с, если масштабировать к параметрам аккрецирующих миллисекундных пульсаров. Эффективное усреднение картины, получающейся в расчетах, позволит нам поставить адекватное условие на внутренней границе диска.

--- Концептуальное развитие моделей взаимодействия вещества диска и магнитосферы нейтронной звезды на основе новых наблюдений и аналитических исследований. Развитие идеи ограничения притока вещества в магнитосферу при низких темпах аккреции (эффект "пропеллера" или "мертвого диска") - например, в работах D'Angelo & Spruit (2010, MNRAS 406, 1208; 2012, MNRAS 420, 416); Matsuoka & Asai (2013 PASJ, 65, 26); Gungor et al. (2017, ApJ 848,13), Furst (2017 A&A 606, A89); Campana et al (2018, A&A 610, A46), Tsygankov et al. (2019, A&A 621, id.A134). В работах Tsygankov et al. (2016 A&A, 593, id.A16), Lutovinov et al. (2017, ApJ, 834, 209) показано наличие корреляции между напряженностью магнитного поля и комбинацией параметров (включающей критическую светимость, ассоциированную с началом режима пропеллера, и период вращения нейтронной звезды), которая указывает на работу пропеллерного

механизма и его универсальный характер среди рентгеновских двойных с магнитными полями в диапазоне напряженностей полей, охватывающем шесть порядков.

--- Численное трехмерное моделирование магнитогидродинамической турбулентности для объяснения вязкости в дисках (например, Davis et al. 2010, ApJ 713,52; Shi et al. 2010, MNRAS 456, 2273; Guan & Gammie 2011, ApJ, 728, 130; Hawley et al. 2011, ApJ 738, 84; Simon et al. 2012, MNRAS 422, 2685; Sorathia et al. 2012, ApJ 749, 189; Hirose et al. 2014, ApJ 787,1; Coleman et al. 2018, ApJ 857, 52). Кроме прочих результатов, в этих работах оценивается основной параметр стандартной модели аккреции - параметр турбулентности альфа. Сравнение этих оценок со значениями, следующих из моделирования динамики дисков на глобальных вязких временах (например, Suleimanov et al. (2008 A&A, 491, 267), Kotko & Lasota (2012, A&A 545, A115), Lipunova & Malanchev (2017 MNRAS 468, p.4735), Tetarenko et al. (2018 Nature 554, 69)) позволяет сделать вывод о том, насколько надежно наше понимание о механизмах отвода углового момента при дисковой аккреции.

III Рентгеновская двойная система HZ Her/Her X-1 наблюдается практически непрерывно с начала 1970-х. Наблюдения проводятся как в оптическом, так и в рентгеновском диапазоне. Накоплен и продолжает накапливаться большой объем наблюдательных данных. Для того, чтобы объяснить эти данные, требуется значительное усовершенствование существующих моделей и разработка новых.

--- К настоящему моменту разными группами проведена большая работа по аналитическому и численному исследованию структуры изгибных дисков в рентгеновских двойных системах (см. напр., Pringle 1992 MNRAS 258, 811; Papaloizou and Lin 1995 ApJ 438, 841; Pringle 1996 MNRAS 281, 357; Larwood et al. 1996 MNRAS 282, 597; Maloney et al. 1996 ApJ 472, 582; Wijers and Pringle 1999 MNRAS 308, 207; Ogilvie and Dubus 2001 MNRAS 320, 485; Lodato and Price 2010 MNRAS 405, 1212). В самое последнее время, в связи с развитием оптической- и радио- интерферометрии, позволяющей наблюдать с высочайшим угловым разрешением, удалось напрямую наблюдать изгибные протопланетные и околозвездные диски (см. напр. Muro-Arena et al. 2019 A&A 635 A121; Kraus et al. 2020 Science 369, 1233). Аккреционные диски в рентгеновских двойных системах вряд ли можно будет пронаблюдать напрямую, поскольку их размер намного меньше размера протопланетных и околозвездных дисков, однако в системе Her X-1 есть возможность «просканировать» структуру диска в ходе затмений. Такое исследование позволит применить накопленные теоретические результаты к реальному аккреционному диску.

--- В настоящее время аналитически хорошо исследовано влияние на динамику аккреционного диска магнитного поля нейтронной звезды (см. напр. Lipunov and Shakura 1976 Pis'ma v Astronomicheskii Zhurnal 2, 343; Lipunov et al. 1981 AZh 58, 765; Murray et al. 2002 MNRAS 335, 247), дискового ветра (см. напр. Schandl and Meyer 1994 A&A 289, 149), радиационного давления (см. напр. Pringle 1996 MNRAS 281, 357). Взаимодействие струй и диска исследовалось и продолжает исследоваться в численных магнито-гидродинамических экспериментах (см. напр. Lukin et al. 2017 MNRAS 467,2934). В работах авторов (Postnov et al. 2013 MNRAS 435, 1147) для объяснения большинства наблюдаемых явлений в двойной системе HZ Her/Her X-1 привлекается как вынужденная прецессия внешних частей аккреционного диска, так и свободная прецессия нейтронной звезды. При наличии свободной прецессии нейтронной звезды с фазой прецессии меняются моменты магнитных сил, действующих на внутренний край аккреционного диска, что приводит к вариации угла наклона внутреннего края диска. При небольшой разнице периода свободной прецессии и вынужденной прецессии диска имеет место их синхронизация. Однако бывают промежутки времени, в течение которых период вынужденной прецессии внешних частей диска увеличивается настолько, что синхронизация пропадает и внешние части диска укладываются в орбитальную плоскость, а внутренние части диска остаются наклонными. В такой ситуации по-прежнему имеет место несимметричное облучение звезды-донора, что может вызвать выход аккреционных струй из орбитальной плоскости и возврат внешних частей диска в наклонное положение.

--- Доступны длинные ряды наблюдений спутника Fermi/GBM с высокоточными измерениями периода рентгеновских импульсов Her X-1, см. <https://gammaray.msfc.nasa.gov/gbm/science/pulsars/lightcurves/herx1.html>. На масштабах порядка одного дня точность измерения периода достигает долей микросекунды. В течение “main-on” можно наблюдать вариации периода, связанные со свободной прецессией нейтронной звезды. Они будут использованы для подтверждения модели свободной прецессии нейтронной звезды и нахождения ее параметров.

на английском языке

I

--- On the one hand, many modern approaches to the description of the magneto-rotational evolution of neutron stars are based on the classical works of the 1970-80s. On the other hand, the discovery of new types of sources requires modification of evolution scenarios or selection of non-standard initial parameters. For example, scenarios with fast field decay (Popov, Turolla 2012, MNRAS 421, L127), as well as scenarios with a large initial rotation period (Haberl et al. 2012, A&A 537, L1) were proposed to describe the source SXP1062. The discovery of this system aroused great interest in X-ray binaries with a

rapid onset of the accretion stage. Another X-ray binary (XMMU J051342.6-672412) associated with an even younger supernova remnant, MCSNR J0513-672, was recently discovered (Maitra et al. 2019, MNRAS 490, 5494), which also aroused the interest of theorists (Ho et al. 2020, MNRAS 494, 44). We expect that models of evolution and accretion for isolated neutron stars will flourish in the near future, since, as a result of the Spectr-RG work, a new catalog of faint sources will appear, much deeper than that of ROSAT, which will inevitably lead to new searches for candidates for isolated accreting neutron stars. This makes the proposed tasks especially relevant. Moreover, models of accretion onto isolated stellar-mass black holes from the interstellar medium are being actively developed, for example, in the application to the Millimetron project (see, for example, Ivanov et al. 2019, MNRAS 489, 2038 and references therein), which is also associated with the subject of our project.

--- Research of the neutron stars' magnetic fields evolution is undergoing a period of rapid development. Several groups are working in different countries, doing in-depth study of the process of changing the magnetic field configuration and strength. It is especially worth highlighting the work at the P.I. Ioffe on accounting for field evolution in neutron star cores (see Gusakov et al. 2020, MNRAS accepted and references there). Accordingly, approaches are being developed to search for observational manifestations of various aspects of field evolution. So De Grandis et al. (2020, ApJ accepted) elaborate the approach suggested by Popov et al. (2017, MNRAS 464, 4390) on using data on thermal radiation from neutron stars to search for manifestations of the Hall attractor stage.

--- Finally, fast radio bursts remain one of the hottest areas in astrophysics. Fast radio bursts are short (from several milliseconds to tens of milliseconds) bright (maximum fluxes are above ~ 100 Jy) radio flares (see the review in Popov, Postnov, Pshirkov 2018 UFN 188, 1063). The first event was reported in 2007 by Lorimer et al. (2007, Science 318, 777). Since then, more than one hundred bursts have been detected (not counting repeated events from the same source), included in the online catalog <http://www.frbcat.org>. The large measure of dispersion, as well as a number of other considerations, favor the extragalactic origin of this phenomenon. Linear and/or circular polarization was measured for almost a dozen sources. In rare cases, it is also possible to measure the measure of rotation. Until recently, reliable identification was made only for the only source of repeated fast radio bursts at that time - FRB 121102. The source is located in a dwarf galaxy with active star formation at redshift $z = 0.193$ (photometric distance 972 Mpc). Now for several more sources (and not only repeating ones), host galaxies of different types have been identified.

A huge number of models have been proposed to explain the nature of FRB (see the "model catalog" review by Platts et al. 2018, arXiv: 1810.05836). This reflects a wide range of uncertainties in describing the nature of these objects. The most promising models are associated with the bursting radiation of magnetars - neutron stars, whose activity is associated with the dissipation of the energy of their magnetic fields. An important confirmation of this model was the registration of a fast radio burst from a galactic magnetar (Bochenek et al 2020., Nature 587, 59, CHIME collaboration 2020, 587, 54), accompanied by an X-ray burst (see, for example, the results of the Cone-Wind in Ridnaia et al. 2020 Nature Astronomy, accepted). Works on population synthesis of bursts are also beginning to appear (see, for example, Wadiasingh et al. 2019, ApJ 891, 82 and references therein).

II Modern astronomical instruments provide increasingly detailed information on the spectral and timing characteristics observed during outbursts of accreting transient sources. In addition, projects for future missions are being developed as mentioned in section 4.2. Theoretical studies of these sources continue in many directions. Let's list those that are closest to the topic of our problem:

--- Numerical two-dimensional modeling of non-stationary accretion disks around compact objects, mainly conducted by a group of authors based on a closed code (see, for example, Dubus et al 1999, MNRAS, 303, 139; Dubus et al. 2001, A&A, 373, 251; Lasota 2001, New Astronomy Rev., 45, 449 Hameury 2020, Advances in Space Research 66, 1004). The approach of this group consists in the simultaneous calculation of the radial and vertical structure, which makes it possible to simulate the long-term evolution of transients in high and quiescent periods, but also requires large computational resources. It should be noted that this approach also implies a certain parameterization based on empirical estimation of the parameters.

--- Numerical three-dimensional modeling of the interaction of accreting matter and magnetosphere - for example, in the works of Romanova et al. (2012, MNRAS 421, 63), Ustyugova et al. (2006, ApJ, 646, 304); Zanni & Ferreira (2013 A&A, 550, A99); Parfrey et al. (2017 MNRAS, 469, 3656). These works show complex effects beyond the limits of one-dimensional analytical analysis and allow us to assess their influence on the global viscous evolution of the disk. It is shown, in particular,

that the character of the accretion flow becomes significantly unstable as the inner disk radius approaches the corotation radius. If the radius of the disk is greater than the corotation radius, an accumulation of matter occurs, which ends with the ejection and accretion of matter with the simultaneous reconnection of the magnetic field lines. Magnetospheric streams have an asymmetric structure in both the vertical coordinate and azimuth. For example, Romanova et al. (2018) find that the inner radius of the disk varies on time scales of the order of 0.1 s when scaled to the parameters of accreting millisecond pulsars. Effective averaging of the picture obtained in the calculations will allow us to set adequate conditions at the inner boundary of the disk.

--- Development of concepts of the interaction of the disk matter and magnetosphere of a neutron star based on new observations and analytical studies. Elaboration of the idea of an accretion flow hindering by the magnetosphere at low accretion rates (related to a 'propeller' effect) - for example, in the works of D'Angelo & Spruit (2010, MNRAS 406, 1208; 2012, MNRAS 420, 416); Matsuoka & Asai (2013 PASJ, 65, 26); Gungor et al. (2017, ApJ 848.13), Furst (2017 A&A 606, A89); Campana et al (2018, A&A 610, A46), Tsygankov et al. (2019, A&A 621, id A134). Tsygankov et al. (2016 A&A, 593, id A16), Lutovinov et al. (2017, ApJ, 834, 209) showed a correlation between the magnetic field strength and a combination of parameters (including the critical luminosity associated with the onset of the propeller regime and the rotation period of the neutron star), which indicates the operation of the propeller mechanism and its universal nature among X-ray binaries with magnetic fields in a range of field strengths covering six orders of magnitude.

--- Numerical 3D modeling of magnetohydrodynamic turbulence to explain viscosity in discs (e.g. Davis et al. 2010, ApJ 713.52; Shi et al. 2010, MNRAS 456, 2273; Guan & Gammie 2011, ApJ, 728, 130; Hawley et al. 2011, ApJ 738, 84; Simon et al. 2012, MNRAS 422, 2685; Sorathia et al. 2012, ApJ 749, 189; Hirose et al. 2014, ApJ 787.1; Coleman et al. 2018, ApJ 857, 52). Among other results, these works estimate the main parameter of the standard accretion model - the turbulence parameter alpha. Comparison of these estimates with values resulting from simulations of disk dynamics at global viscous times (e.g., Suleimanov et al. (2008 A&A, 491, 267), Kotko & Lasota (2012, A&A 545, A115), Lipunova & Malanchev (2017 MNRAS 468, p. 4735), Tetarenko et al. (2018 Nature 554, 69)) allows us to conclude how reliable our understanding of the mechanisms of angular momentum removal during disk accretion is.

III The binary system HZ Her / Her X-1 X-ray has been observed almost continuously since the early 1970s. Observations are carried out both in the optical and X-ray ranges. A large amount of observational data has been accumulated and continues to accumulate. Explaining these data requires significant improvements to existing models and the development of new ones.

--- To date, various groups have carried out a lot of work on the analytical and numerical study of the structure of warped disks in X-ray binaries (for example, Pringle 1992 MNRAS 258, 811; Papaloizou and Lin 1995 ApJ 438, 841; Pringle 1996 MNRAS 281, 357; Larwood et al. 1996 MNRAS 282, 597; Maloney et al. 1996 ApJ 472, 582; Wijers and Pringle 1999 MNRAS 308, 207; Ogilvie and Dubus 2001 MNRAS 320, 485; Lodato and Price 2010 MNRAS 405, 1212). Most recently, in connection with the development of optical and radio interferometry, which allows observation with the highest angular resolution, it has become possible to directly observe warped protoplanetary and circumstellar disks (see, e.g., Muro-Arena et al. 2019 A&A 635 A121; Kraus et al. 2020 Science 369, 1233). Accretion disks in X-ray binaries can hardly be observed directly, since their size is much smaller than the size of protoplanetary and circumstellar disks, but in the Her X-1 system it is possible to "scan" the disk structure during eclipses. Such a study will enable application of the accumulated theoretical results to a real accretion disk.

--- Different effects on the dynamics of the accretion disk have been analytically studied. For example, the influence of the neutron star magnetic field (Lipunov and Shakura 1976 Pis'ma v Astronomicheskii Zhurnal 2, 343; Lipunov et al. 1981 AZh 58, 765; Murray et al 2002 MNRAS 335, 247), disk wind (see, e.g., Schandl and Meyer 1994 A&A 289, 149), radiation pressure (see, e.g., Pringle 1996 MNRAS 281, 357). The jet-disk interaction has been and continues to be studied in numerical magnetohydrodynamic experiments (see, for example, Lukin et al. 2017 MNRAS 467, 2934). In the works of the team members (Postnov et al. 2013 MNRAS 435, 1147), both the forced precession of the outer parts of the accretion disk and the free precession of a neutron star are used to explain most of the observed phenomena in the binary system HZ Her / Her X-1. In the presence of a free precession of a neutron star, the moments of magnetic forces acting on the inner edge of the accretion disk change with a precession phase, which leads to a variation in the inclination angle of the inner edge of the disk. With a small difference between the periods of the free precession and forced precession of the disk, they are synchronized. However, there are time intervals during which the period of the forced precession of the outer parts of the disk increases so much that the synchronization disappears and the outer parts of the disk fit into the orbital plane, while the inner parts of the

disk remain inclined. In such a situation, asymmetric irradiation of the donor star still takes place, which can cause the accretion streams to leave the orbital plane, and the outer disk parts to return into an inclined position.

--- Long series of observations of the Fermi / GBM satellite are available, providing high-precision measurements of the X-ray pulse period of Her X-1, see <https://gammaray.msfc.nasa.gov/gbm/science/pulsars/lightcurves/herx1.html>. On scales of the order of one day, the accuracy of measuring the period reaches fractions of a microsecond. During 'main-on', period variations associated with the free precession of the neutron star can be observed. They will be used to confirm the model of free precession of a neutron star and to find its parameters.

4.6. Предлагаемые методы и подходы, общий план работы на весь срок выполнения проекта и ожидаемые результаты (объемом не менее 2 стр.; в том числе указываются ожидаемые конкретные результаты по годам; общий план дается с разбивкой по годам)

на русском языке

Методы и подходы:

Моделирование магнито-вращательной эволюции нейтронных звезд с технической точки зрения сводится к уточнению свойств моделей и численному интегрированию соответствующих уравнений, а также последующему сравнению с данными наблюдений.

Изучение наблюдательных проявлений различных вариантов затухания магнитного поля состоит, во-первых, в анализе популяционных свойств различных объектов (например, радиопульсаров), а во-вторых, в моделировании и анализе тепловых карт молодых остывающих нейтронных звезд (подход предложен в работе Popov, Taverna, Turolla 2017, MNRAS 464, 4390).

Для моделирования источников быстрых радиовсплесков мы планируем использовать метод популяционного синтеза (см. Попов, Прохоров 2007, УФН 177, 1179). Этот метод позволяет проводить теоретические исследования больших совокупностей объектов с учетом их эволюции для различных модельных предположений, а затем проводить эффективное сравнение результатов расчетов с данными наблюдений, а также делать предсказания для будущих наблюдений.

Для реализации эффективного кода расчета эволюции диска решение численной задачи о структуре диска делится на две части: численное решение вертикальной структуры диска для стационарных локальных параметров и численное решение уравнения эволюции радиальной структуры диска. Для решения уравнения эволюции аккреционного диска используется численная схема, написанная участниками проекта (см. "Аккреционные процессы в астрофизике", Москва, Физматлит, 2016). Выбор внутренних граничных условий основан на следующих работах: Spruit & Taam (1993, ApJ 402, 593); Kluzniak & Rappaport (2007, ApJ 671, 1990); Matt & Pudritz (2005, MNRAS 356, 167); D'Angelo & Spruit (2010, MNRAS 406, 1208; 2012, MNRAS 420, 416); Parfery et al. (2017 ApJ Letters, 851, L34), Romanova et al. (2018, NewA 62, 94), Bozzo et al. (2018, A&A 617, A126).

Для сравнения с наблюдениями будет проведено численное моделирование теплового излучения диска, нейтронной звезды (в ньютоновском и пост-ньютоновском приближении) и оптической звезды-компаньона, использующие результаты Thorne (1977 ApJ 212, 825); Syunyaev & Shakura (1986, Astronomy Letters 12, 286); Lewin et al. (1993 Space Sci. Rev. 62, 223); Sibgatullin & Sunyaev (2000, Astronomy Letters 26, 699); Suleimanov и др. (2008 A&A 491, 267); Мещеряков и др. (2011, Письма в АЖ, 37, 311); Kolesnikov et al. (2020 MNRAS, 499, 1747).

Интерпретация наблюдаемых оптических и рентгеновских кривых блеска будет осуществляться методом синтеза теоретических кривых блеска с последующей оптимизацией параметров модели стандартными методами минимизации. Наиболее изученные источники представляют наибольшую ценность, так как для них известны многие параметры двойных систем, что означает меньшее число свободных параметров при моделировании (например, такой интенсивно изучаемый источник, как Aql X-1 с наблюдениями вспышек почти каждый год).

Обработка наблюдений рентгеновских транзиентов будет включать спектральное моделирование с использованием пакета HEASOFT/Xspec. Для обработки используются скрипты, позволяющие в полуавтоматическом режиме проводить моделирования для набора наблюдений по целой вспышке.

Для моделирования оптических кривых блеска Her X-1 будет использована программа синтеза кривых блеска с параметризованной моделью диска (Kolesnikov et al. 2020 MNRAS 499, 1747).

Построение модели синхронизации периодов свободной прецессии нейтронной звезды и прецессии аккреционного диска в Her X-1 и собственно модели свободной прецессии нейтронной звезды будет проводиться аналитическими методами.

Анализ временных рядов наблюдений Her X-1 будет проводиться с помощью стандартных методов. Для

моделирования будут использованы длинные ряды наблюдений с высокоточными измерениями периода рентгеновских импульсов Her X-1 спутника Fermi/GBM (см. ссылку в пункте 4.5). В процессе анализа будет учтено, что существуют случайные вариации периода, связанные с нестационарностью темпа аккреции и растрескиванием коры нейтронной звезды.

Ряд задач проекта требует компьютерного моделирования значительной ресурсозатратности, приобретение оборудования для которого предусмотрено в данном проекте (пункт 4.12).

Общий план работы и ожидаемые результаты:

Первый год (соответствует пунктам 4.9, 4.11):

Построение модели магнитовращательной эволюции молодых нейтронных звезд в двойных системах с учетом вариаций темпа аккреции. Разработка сценария эволюции с быстрым выходом на стадию аккреции. По результатам работы планируется публикация. Также часть этого исследования войдет в дипломную работу А.Д. Хохряковой.

Разработка новых модулей кода Freddi для расчета кривых блеска для моделирования вспышек II типа аккрецирующих миллисекундных пульсаров и рентгеновских новых с немагнитными нейтронными звездами. В результате будет проведено моделирование с номинальными параметрами и получены кривые блеска.

В результате численных решений уравнений вертикальной структуры диска получены параметры для использования в коде Freddi , а также при восстановлении структуры диска в двойной системе Her X-1 .

Также будет начат анализ наблюдательных данных для отбора вспышек, подходящих для дальнейшего моделирования. Будет начат анализ существующих моделей взаимодействия вещества диска и магнитосферы.

Моделирование минимумов оптических кривых блеска HZ Her/Her X-1 . Восстановление структуры и распределения температуры по поверхности аккреционного диска с учетом решения уравнений вертикальной структуры. Получение оптимальных параметров модели диска и теоретических кривых блеска на разных фазах 35-дневного цикла. Анализ вариации прихода рентгеновских импульсов Her X-1 . Создание модели вариации времени прихода наблюдаемых рентгеновских импульсов на основе модели свободно прецессирующей нейтронной звезды.

Подготовка рукописей статей.

Второй год:

Разработка моделей затухания магнитного поля и анализ его проявления у молодых нейтронных звезд. На основе полученных модельных данных будет проведен анализ доступных данных наблюдений (радиопульсары, остывающие нейтронные звезды) и будут сделаны выводы о наличии или отсутствии предсказанных свойств у наблюдаемых источников. Итоговые результаты будут представлены в публикации.

Сравнение существующих моделей взаимодействия вещества диска и магнитосферы - путем реализации в коде соответствующих граничных условий на внутренней границе диска. Анализ наблюдаемых проявлений разных моделей, характеристик получающихся кривых блеска. В рамках модельных расчетов будет получен ответ на вопрос, как меняется вид кривых блеска для разных наклонов магнитной оси нейтронной звезды к плоскости диска.

Анализ механизмов синхронизации периодов свободной прецессии нейтронной звезды и аккреционного диска. Создание модели, включающей динамическое действие аккреционных струй на диск.

Публикация и подготовка рукописей статей.

Третий год:

Расчеты параметров одиночных аккрецирующих нейтронных звезд, в том числе в приложении к их идентификации в данных eROSITA и ART-XC . В течение третьего года реализации проекта будет завершен 4-летний обзор неба на eROSITA , и результаты наших расчетов и разработанные критерии будут представлены в распоряжении рабочих групп российского консорциума.

Для отобранных вспышек рентгеновских транзиентов, что важно, с точки зрения моделирования глобальной эволюции диска (то есть построения его структуры на всех радиусах и расчета теплового спектра), заключение о наличии наблюдательных подтверждений пересечения внутренней границы диска центробежного барьера в источниках с аккрецирующими нейтронными звездами.

Получение оптимальных параметров модели свободно-прецессирующей нейтронной звезды по наблюдаемым вариациям прихода рентгеновских импульсов.

Публикация статей.

На протяжении всего проекта:

Построение популяционных моделей быстрых радиовсплесков.

Работа по включению в код *Freddi* дополнительных модулей для расчета перехвата и переработки рентгена диском, звездой-компаньоном и другими возможными компонентами двойной системы, например, диском вокруг двойной системы. К завершению проекта планируется публикация новой версии кода и размещение на независимом ресурсе.

Участие в научных конференциях.

на английском языке

Methods and approaches:

Modeling the magnetic-rotational evolution of neutron stars involves the refinement of the properties of the models and the numerical integration of the corresponding equations, as well as the subsequent comparison with observational data.

The study of observational manifestations of various variants of magnetic field decay implies, firstly, the analysis of the population properties of various objects (for example, radio pulsars), and secondly, the modeling and analysis of heat maps of young cooling neutron stars (the approach was proposed in the work by Popov, Taverna, Turolla 2017, MNRAS 464, 4390).

Modeling sources of fast radio bursts will be done by the method of population synthesis (see Popov, Prokhorov 2007, *Physics Uspekhi*, 50, 1123). Using this method we can carry out theoretical studies of large populations of objects, taking into account their evolution for various model assumptions, and then make an effective comparison of the calculation results with observational data, as well as make predictions for future observations.

To implement an efficient code for calculating the evolution of the disk, the solution of the numerical problem on the disk structure is divided into two parts: the numerical solution of the vertical disk structure for stationary local parameters and the numerical solution of the equation for the evolution of the radial disk structure. To solve the equation of evolution of the accretion disk, a numerical scheme written by the project participants is used (see "Accretion Flows in Astrophysics", Springer, ASSL, 2018 Ed. Shakura N.). The choice of the inner boundary conditions is based on the following works: Spruit & Taam (1993, *ApJ* 402, 593); Kluzniak & Rappaport (2007, *ApJ* 671, 1990); Matt & Pudritz (2005, MNRAS 356, 167); D'Angelo & Spruit (2010, MNRAS 406, 1208; 2012, MNRAS 420, 416); Parfery et al. (2017 *ApJ Letters*, 851, L34), Romanova et al. (2018, *NewA* 62, 94), Bozzo et al. (2018, *A&A* 617, A126).

For comparison with observations, numerical simulations of the thermal emission from the disk, neutron star (in Newtonian and post-Newtonian approximations) and optical companion star will be carried out using the results of Thorne (1977 *ApJ* 212, 825); Syunyaev & Shakura (1986, *Astronomy Letters* 12, 286); Lewin et al. (1993 *Space Sci. Rev.* 62,223); Sibgatullin & Sunyaev (2000, *Astronomy Letters* 26, 699); Suleimanov and others. (2008 *A&A* 491,267); Meshcheryakov et al. (2011, *Letters to AZ*, 37, 311); Kolesnikov et al. (2020 MNRAS, 499, 1747).

The interpretation of the observed optical and X-ray light curves will be carried out by the method of synthesis of theoretical light curves with subsequent optimization of the model parameters using standard minimization methods. The X-ray outbursts for analysis will be selected among the most studied sources, since many parameters of binary systems are known for them, which means fewer free parameters in modeling.

Processing of X-ray transient observations will include spectral modeling using the HEASOFT / Xspec package. For processing, scripts are used that allow semi-automatic simulations for a set of observations of a whole outburst.

To simulate the optical light curves of Her X-1, we will use a light curve synthesis program with a parameterized disk model (Kolesnikov et al. 2020 MNRAS 499, 1747).

The construction of a synchronization model for the periods of the free precession of a neutron star and the precession of the accretion disk in Her X-1 and the actual model of free precession of the neutron star will be carried out by analytical methods.

Time series analysis of Her X-1 observations will be performed using standard methods.

Long series of observations with high precision measurements of the Her X-1 X-ray pulse period of the Fermi / GBM satellite will be used (see reference in paragraph 4.5). During the analysis, it will be taken into account that there are random variations in the period associated with the nonstationarity of the accretion rate and the cracking of the neutron star crust.

A number of project tasks require computer modeling of significant resource consumption, the purchase of equipment for which is planned for in this project (see section 4.12).

Overall work plan and expected results:

First year (corresponds to sections 4.9, 4.11):

Construction of a model of the magnetorotational evolution of young neutron stars in binary systems taking into account variations of the accretion rate. Development of an evolution scenario with a quick onset of the accretion stage. According to the results of the work, publication is planned. Also part of this research will be included into the diploma thesis of A.D. Khokhryakova.

Development of new modules of the Freddi code for calculating light curves for simulating Type II flares of accreting millisecond pulsars and X-ray novae with non-magnetized neutron stars. As a result, simulations with nominal parameters will be performed and light curves obtained.

As a result of numerical solutions of the equations for the vertical structure of the disk, parameters are obtained for use in the Freddi code, as well as in the reconstruction of the disk structure in the Her X-1 binary system.

An analysis of observational data will also begin to select flares suitable for further modeling. An analysis of the existing models of the interaction of the matter of the disk and the magnetosphere will begin.

Simulation of the minima of the optical light curves of HZ Her / Her X-1. Reconstruction of the structure and temperature distribution over the surface of the accretion disk taking into account the solution of the equations of the vertical structure. Obtaining the optimal parameters of the disk model and theoretical light curves for different phases of the 35-day cycle. Analysis of the variation in the arrival of Her X-1 X-ray pulses. Creation of a model for the variation in the arrival time of the observed X-ray pulses based on the model of a freely precessing neutron star.

Preparation of manuscripts of articles.

Second year:

Development of models of magnetic field decay and analysis of its manifestation in young neutron stars. Based on the obtained model data, an analysis of the available observational data (radio pulsars, cooling neutron stars) will be carried out and conclusions will be drawn about the presence or absence of predicted properties of the observed sources. The final results will be presented in the publication.

Comparison of the existing models of the interaction of the matter of the disk and the magnetosphere by implementing in the code the corresponding boundary conditions on the inner boundary of the disk. Analysis of the observed manifestations of different models, characteristics of the resulting light curves. In the framework of model calculations, we will find out how the shape of the light curves changes for different inclinations of the magnetic axis of a neutron star to the plane of the disk.

Analysis of mechanisms of synchronization of periods of free precession of a neutron star and an accretion disk. Creation of a model that includes the dynamic action of accretion streams on the disk.

Publication and preparation of manuscripts of articles.

Third year:

Calculations of the parameters of single accreting neutron stars, including those attached to their identification in the eROSITA and ART-XC data. During the third year of the project, a 4-year sky survey on eROSITA will be completed, and the results of our calculations and developed criteria will be presented to the working groups of the Russian consortium.

For the selected outbursts of X-ray transients, the conclusion will be obtained about the presence of observational evidence

of the crossing of the inner boundary of the disk of the centrifugal barrier in sources with accreting neutron stars. It is important that the result will be obtained in the framework of the global evolving disk model; that is, along with constructing its structure and calculating the thermal spectrum.

Obtaining the optimal parameters of the model of a free-precessing neutron star from the observed variations in the arrival of X-ray pulses.

Publication of articles.

Throughout the project:

Construction of population models of fast radio bursts.

Work on including additional modules into Freddi's code for calculating the interception and processing of X-rays by a disk, a companion star, and other possible components of the binary system, for example, a disk around the binary system.

By the conclusion of the project, it is planned to publish a new version of the code and place it on an independent resource.

Participation in scientific conferences.

4.7. Имеющийся у научного коллектива научный задел по проекту, наличие опыта совместной реализации проектов (указываются полученные ранее результаты, разработанные программы и методы)

В каждом из предлагаемых направлений у участников проекта есть значимые результаты и значительные наработки.

Исследования магнито-вращательной эволюции в ГАИШ МГУ имеют давнюю историю (см. монографию Липунов 1987). Изучение молодых рентгеновских систем в остатках сверхновых получило новый импульс с открытием системы SXP 1062 в Малом Магеллановом облаке. Один из участников проекта выдвинул идею роли затухания магнитного поля в формировании этой системы (Popov, Turolla 2012, MNRAS 421, L127), а также участвовал в заявке на наблюдения этого объекта и последующем теоретическом анализе полученных результатов (Gonzalez-Galan, Oskinova, Popov et al. 2018, MNRAS 475, 2809).

Эволюция одиночных нейтронных звезд на больших интервалах времени была предметом исследования нашей группы в течение ряда лет (Липунов, Попов 1995 АЖ 72, 711; Popov et al. 2000, ApJ 530, 896). В частности, был создан комплекс программ для популяционного синтеза одиночных нейтронных звезд. Новые подходы были использованы в работах Boldin, Popov (2010, MNRAS 407, 1090) и Popov, Postnov, Shakura (2015, MNRAS 447, 2817).

Изучение эволюции магнитных полей нейтронных звезд было осуществлено в серии работ Igoshev, Popov (2014-2020). Идея использовать данные по тепловому излучению остывающих нейтронных звезд для выявления объектов на стадии холловского аттрактора была предложена в работе Popov, Taverna, Turolla (2017, MNRAS 464, 4390) и применена к источнику RXJ1856.

Наконец, магнитная модель быстрых радиовсплесков была выдвинута в работах Popov, Postnov (2007 arXiv: 0710.2006, 2013 arXiv:1307.4924), получивших в настоящее время признания в качестве пионерских (более сотни цитирований каждая).

Базовая версия численного кода Freddi (для расчета эволюции аккреционного диска вокруг черной дыры) апробирована и опубликована (Маланчев и Липунова 2016; Astrophysics Source Code Library, ascl:1610.014). Разработана процедура получения ограничений на параметры моделей по наблюдениям в рентгеновском диапазоне (Липунова, 2015 ApJ, 804, 87; Липунова и Маланчев, 2017, MNRAS, 468, 4735). На данный момент начата работа по учету граничных условий на магнитосфере НЗ и получено численное решение для одного сценария (см. Пункт 4.13, файл propeller.pdf). Реализован учет облучения оптической звезды компаньона для стационарного диска (Kolesnikov et al. 2020 MNRAS, 499, 1747). Разработан модуль расчета эволюции диска с ветром, представленный в работе Авакяна, Маланчева и Липуновой (2019, DOI:10.26119/SAO.2019.1.35452). Влияние внутренних граничных условий на структуру диска исследовалось ранее в работах в соавторстве заявителей (Chashkina, Lipunova et al. 2019, A&A 626, id.A18, Mushtukov, Lipunova et al. 2019, MNRAS 486, 4061).

В работе Ketsaris & Shakura (1998, A&AT, 15, 193) получены решения уравнений вертикальной структуры стандартного диска в приближении уравнения состояния идеального газа и степенной зависимости непрозрачности от плотности и

температуры. Их можно использовать в коде эволюции диска в ограниченном диапазоне температур. В работе Malanchev, Postnov, Shakura (2017, MNRAS, 464, 410) и Тавлеева, Маланчева и Липуновой (2019, DOI:10.26119/SAO.2019.1.35553) эти решения обобщены для случая степенной зависимости объемного энерговыделения от давления и температуры, а разработанный программный код для расчета коэффициентов, описывающих структуру диска, доступен публично на <https://github.com/hombit/convinstab>. Участниками проекта разработан подход к расчету вертикальной структуры горячего (6500-20000 К) аккреционного диска вблизи черной дыры (Malanchev, Shakura 2015, A&L, 41, 797), в котором рассчитана конвекция в рамках модели с длинной перемешивания, адаптированной к альфа-модели дисковой аккреции.

Имеется опыт спектрального моделирования рентгеновских источников в пакете HEASOFT/Xspec. В частности, оно проводилось в процессе работы над такими публикациями участников проекта: Липунова и Маланчев, 2017, MNRAS, 468, 4735; Горбовской, Липунова и др., 2012 MNRAS 421, 1874.

При работе над моделированием наблюдаемых оптических кривых блеска рентгеновской двойной системы HZ Her/Her X-1 был разработан код для синтеза теоретических кривых блеска излучения от двойной системы с изгибным диском. Данный код апробирован в работе Kolesnikov et al. (2020 MNRAS 499, 1747). В моделях, используемых для синтеза теоретических кривых блеска, используется большое число параметров, поэтому отдельно стоит сложная задача оптимизации этих параметров при моделировании наблюдаемых данных. Нами найден наиболее эффективный алгоритм для оптимизации и автоматического подбора параметров модели. Модель изгибного аккреционного диска для учёта его облучения рентгеновским источником значительно усовершенствована по сравнению с любыми другими кодами для синтеза кривых блеска. В настоящее время в программу добавлена модель горячей оптически тонкой короны над поверхностью облученной части звезды-донора и модель рассеяния рентгеновских фотонов в холодной оптически толстой фотосфере для моделирования рентгеновских кривых блеска. Программа доступна на репозитории GitHub: <https://github.com/eliseys/discostar>. Кроме того, накоплено большое количество измерений блеска в фотометрических фильтрах Джонсона системы HZ Her/Her X-1 (более 40000). Много серий наблюдений сделано в одну ночь. Такие серии особенно ценны, поскольку лишены ошибок усреднения кривых блеска за разные 35-дневные циклы. Наблюдения продолжаются на базе Крымской астрофизической обсерватории.

4.8. Перечень оборудования, материалов, информационных и других ресурсов, имеющихся у научного коллектива для выполнения проекта (в том числе – описывается необходимость их использования для реализации проекта)

Исполнители проекта имеют доступ к данным наблюдений: актуальные наблюдения SRG, архивные базы данных обсерваторий RXTE, Swift, 1-м телескопа Симеизской обсерватории ИНАСАН Крымской астрофизической обсерватории, телескопов Кавказской Горной Обсерватории МГУ.

Коллектив имеет в распоряжении компьютерные программы моделирования эволюции двойных и одиночных нейтронных звезд, эволюции вязкого аккреционного диска, расчета оптических кривых блеска от двойных систем, анализа временных и спектральных характеристик космических источников.

У коллектива имеется стандартное офисное оборудование, на котором можно проводить расчеты малой и средней ресурсозатратности. Для осуществления целей проекта планируется приобрести дополнительные мощности (см. пункт 4.12).

Кроме изданий и баз данных, находящихся в открытом доступе, коллектив имеет доступ к научным российским и международным изданиям в рамках подписки МГУ им. М.В.Ломоносова.

4.9. План работы на первый год выполнения проекта (в том числе указываются запланированные командировки (экспедиции))

на русском языке

Построение модели магнитовращательной эволюции молодых нейтронных звезд в двойных системах с учетом вариаций темпа аккреции. Разработка сценария эволюции с быстрым выходом на стадию аккреции. По результатам работы планируется публикация. Также часть этого исследования войдет в дипломную работу А.Д. Хохряковой. (Попов, Хохрякова)

Разработка новых модулей кода *Freddi* для расчета кривых блеска для моделирования вспышек II типа аккрецирующих миллисекундных пульсаров и рентгеновских новых с немагнитными нейтронными звездами. В результате будет проведено моделирование с номинальными параметрами и получены кривые блеска. (Липунова, Маланчев, Авакян)

В результате численных решений уравнений вертикальной структуры диска получены параметры для использования в коде Freddi, а также при восстановлении структуры диска в двойной системе Her X-1. (Тавлеев, Шакура, Маланчев). Часть этого исследования войдет в дипломную работу А.С.Тавлеева.

Также будет начат анализ наблюдательных данных для отбора вспышек, подходящих для дальнейшего моделирования. Будет начат анализ существующих моделей взаимодействия вещества диска и магнитосферы. (Липунова)

Моделирование минимумов оптических кривых блеска HZ Her/Her X-1. Восстановление структуры и распределения температуры по поверхности аккреционного диска с учетом решения уравнений вертикальной структуры. Получение оптимальных параметров модели диска и теоретических кривых блеска на разных фазах 35-дневного цикла. Анализ вариации прихода рентгеновских импульсов Her X-1. Создание модели вариации времени прихода наблюдаемых рентгеновских импульсов на основе модели свободно прецессирующей нейтронной звезды. (Шакура, Колесников)

Подготовка рукописей статей.

Участие в конференции IAU Symposium 363 Neutron Star Astrophysics at the Crossroads: Magnetars and the Multimessenger Revolution (Италия). <https://astromeeting.gssi.it/the-symposium-has-been-postponed-to-june-13-18-2021/>

Участие в конференции European Astronomical Society Annual Meeting EAS 2021 <https://eas.unige.ch/EAS2021/index.jsp>

на английском языке

Construction of a model of the magnetorotational evolution of young neutron stars in binary systems taking into account variations of the accretion rate. Development of an evolution scenario with a quick onset of the accretion stage. According to the results of the work, publication is planned. Also part of this research will be included into the diploma thesis by A.D. Khokhryakova. (Поров, Khokhryakova)

Development of new modules of the Freddi code for calculating light curves for simulating Type II flares of accreting millisecond pulsars and X-ray novae with non-magnetized neutron stars. As a result, simulations with nominal parameters will be performed and light curves obtained. (Lipunova, Malanchev, Avakyan)

As a result of numerical solutions of the equations for the vertical structure of the disk, parameters are obtained for use in the Freddi code, as well as in the reconstruction of the disk structure in the Her X-1 binary system. (Tavleev, Shakura, Malanchev) A part of this research will be included into the diploma thesis by A.S.Tavleev.

An analysis of observational data will also begin to select flares suitable for further modeling. An analysis of the existing models of the interaction of the matter of the disk and the magnetosphere will begin. (Lipunova)

Simulation of the minima of the optical light curves of HZ Her / Her X-1. Reconstruction of the structure and temperature distribution over the surface of the accretion disk taking into account the solution of the equations of the vertical structure. Obtaining the optimal parameters of the disk model and theoretical light curves for different phases of the 35-day cycle. Analysis of the variation in the arrival of Her X-1 X-ray pulses. Creation of a model for the variation in the arrival time of the observed X-ray pulses based on the model of a freely precessing neutron star. (Shakura, Kolesnikov)

Preparation of manuscripts of articles.

Participation in the IAU Symposium 363 Neutron Star Astrophysics at the Crossroads: Magnetars and the Multimessenger Revolution conference (Italy). <https://astromeeting.gssi.it/the-symposium-has-been-postponed-to-june-13-18-2021/>

Participation in the European Astronomical Society Annual Meeting EAS 2021 <https://eas.unige.ch/EAS2021/index.jsp>

4.10. Планируемое на первый год содержание работы каждого основного исполнителя проекта (включая руководителя проекта)

Шакура Н.И.

Разработка модели изгибного аккреционного диска с учетом взаимодействия с аккреционными струями, облучением и

прогревом рентгеновским источником. Разработка модели свободно-прецессирующей нейтронной звезды. Участие в анализе численных решений уравнений вертикальной структуры диска.

Попов С.Б.

Анализ возможности использования данных наблюдений молодых остывающих нейтронных звезд (источники Великолепной семерки) для получения данных о стационарных состояниях в ранней эволюции магнитного поля (холловский аттрактор).

Руководство работой студента-дипломника (А. Д. Хохрякова) по моделированию магнито-вращательной эволюции молодых нейтронных звезд в двойных системах. Изучение новых данных по быстрым радиовсплескам и радиовсплескам магнитаров в качестве предварительной работы по созданию популяционной модели.

Липунова Г.В.

Проработка концепции и участие в отладке модуля расчета кривых блеска вспышек рентгеновских транзиентов с нейтронными звездами. Анализ существующих моделей взаимодействия вещества диска и магнитосферы. Участие в анализе наблюдательных данных для отбора вспышек, подходящих для дальнейшего моделирования.

4.11. Ожидаемые в конце первого года конкретные научные результаты (форма изложения должна дать возможность провести экспертизу результатов и оценить степень выполнения заявленного в проекте плана работы)

на русском языке

Эволюционные сценарии для молодых нейтронных звезд в рентгеновских двойных в остатках сверхновых с учетом эффекта гистерезиса при кратковременном увеличении темпа аккреции. В рамках этого подхода планируется проанализировать ситуации, в которых нейтронные звезды выходят на стадию аккреции за времена порядка тысяч лет, и построить количественные модели такой эволюции.

В результате численных решений уравнений вертикальной структуры диска получены параметры для использования в коде *Freddi*, а также при восстановлении структуры диска в двойной системе Her X-1.

Разработка новых модулей кода *Freddi* для расчета кривых блеска для моделирования вспышек II типа аккрецирующих миллисекундных пульсаров и рентгеновских новых с незамагниченными нейтронными звездами. Кривые блеска транзиентов с нейтронными звездами в рентгеновском и оптических диапазонах, рассчитанные в рамках расширенного кода *Freddi* с номинальными параметрами.

Также будет начат анализ наблюдательных данных для отбора вспышек рентгеновских транзиентов, составлен начальный список вспышек источников, выбранных для последующего моделирования с кодом *Freddi*.

Будут получены оптимальные параметры модели диска с распределением температуры по его поверхности и теоретические кривые блеска для минимумов HZ Her для разных фаз 35-дневного цикла. Будут разработана модель изменения наблюдаемого периода рентгеновских импульсов, получены оптимальные параметры модели по наблюдаемым вариациям.

Будут подготовлены рукописи статей.

на английском языке

Evolutionary scenarios for young neutron stars in X-ray binaries in supernova remnants, taking into account the hysteresis effect with a short-term increase in the accretion rate. Within the framework of this approach, it is planned to analyze situations in which neutron stars reach the accretion stage over time of the order of thousands of years, and to construct quantitative models of such evolution.

As a result of numerical solutions of the equations for the vertical structure of the disk, parameters are obtained for use in the *Freddi* code, as well as in the reconstruction of the disk structure in the Her X-1 binary system.

Development of new modules of the *Freddi* code for calculating light curves for simulating Type II flares of accreting millisecond pulsars and X-ray Novae with non-magnetized neutron stars. X-ray and optical light curves of transients with neutron stars calculated using the extended *Freddi* code with nominal parameters.

The analysis of observational data for the selection of outbursts of X-ray transients will also begin; an initial list of outbursts of the sources selected for subsequent modeling with code *Freddi* will be compiled.

The optimal parameters of the disk model with the temperature distribution over its surface and the theoretical light curves for the HZ Her minima for different phases of the 35-day cycle will be obtained. A model of changes in the observed period of X-ray pulses will be developed, and the optimal parameters of the model based on the observed variations will be obtained.

Manuscripts of articles will be prepared.

4.12. Перечень планируемых к приобретению за счет гранта оборудования, материалов, информационных и других ресурсов для выполнения проекта (в том числе – описывается необходимость их использования для реализации проекта)

Большинство задач проекта требует компьютерного моделирования. Расчет вертикальной структуры аккреционного диска для значительного массива параметров и с привлечением современных данных о непрозрачностях для разного химического состава требует значительных ресурсов. Также учет затмений при расчете оптических кривых блеска во время вспышки требует совмещения кода *Freddi* и кода облучения оптической звезды-компаньона с трассировкой лучей, что является ресурсно-затратной вычислительной задачей. Предполагается проведение спектрального моделирования вспышек рентгеновских транзиентов, причем не штучно, а для многих наблюдений для получения эволюции спектральных параметров на протяжении вспышек.

Для проведения многочисленных расчетов по проекту необходимо приобретение мобильных рабочих станций, постоянно находящихся полностью в распоряжении группы.

Хотя каждый из расчетов не требует сверхмощных ресурсов (типа кластеров, суперкомпьютеров и т.п.), однако их число велико, а кроме того важно иметь возможность как одновременного проведения расчетов разными членами проекта, так и возможность проводить отладочные прогоны.

Таким образом, для проведения работ по проекту планируется приобрести три мобильных рабочих станции с хорошим уровнем вычислительных ресурсов (типа *Lenovo Thinkpad X1*).

4.13. Файл с дополнительной информацией 1

С графиками, фотографиями, рисунками и иной информацией о содержании проекта. Один файл в формате pdf, до 3 Мб.

Скачать...

Текст в файлах с дополнительной информацией должен приводиться на русском языке. Перевод на английский язык требуется в том случае, если руководитель проекта оценивает данную информацию существенной для эксперта.

4.14. Файл с дополнительной информацией 2 (если информации, приведенной в файле 1, окажется недостаточно)

С графиками, фотографиями, рисунками и иной информацией о содержании проекта. Один файл в формате pdf, до 3 Мб.

Скачать...

Подпись руководителя проекта _____ /Н.И. Шакура/

Форма 5. Запрашиваемое финансирование на 2021 год

5.1. Планируемые расходы по проекту

№ п.п.	Направления расходования средств гранта	Сумма расходов (тыс.руб.)
	ВСЕГО	6000
	Вознаграждение членов научного коллектива (с учетом страховых взносов во внебюджетные фонды, без лиц категории «вспомогательный персонал»)	4500
	Вознаграждение лиц категории «вспомогательный персонал» (с учетом страховых взносов во внебюджетные фонды)	0
1	Итого вознаграждение (с учетом страховых взносов во внебюджетные фонды)	4500
2	Оплата научно-исследовательских работ сторонних организаций, направленных на выполнение научного проекта (не более 15 процентов от суммы гранта)	0
3	Расходы на приобретение оборудования и иного имущества, необходимых для проведения научного исследования (включая обучение работников, монтажные, пуско-наладочные и ремонтные***** работы) ***** Не связанные с осуществлением текущей деятельности организации.	600
4	Расходы на приобретение материалов и комплектующих для проведения научного исследования	0
5	Иные расходы для целей выполнения проекта	300
6	Накладные расходы организации (не более 10 процентов от суммы гранта)	600

5.2. Расшифровка планируемых расходов

№ п.п.	Направления расходования средств гранта, расшифровка
1	<p>Итого вознаграждение (с учетом страховых взносов во внебюджетные фонды) (указывается сумма вознаграждения (включая руководителя, основных исполнителей и иных исполнителей, привлекаемых к выполнению работ по проекту), включая установленные законодательством Российской Федерации гарантии, отчисления по страховым взносам на обязательное пенсионное страхование, на обязательное медицинское страхование, на обязательное социальное страхование на случай временной нетрудоспособности и в связи с материнством, на обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний)</p> <p>Планируемая сумма вознаграждения руководителя, включая социальные выплаты - 1000 Планируемая сумма вознаграждения основных исполнителей, включая социальные выплаты - 1500 Планируемая сумма вознаграждения остальных исполнителей, включая социальные выплаты - 2000</p>
2	<p>Оплата научно-исследовательских работ сторонних организаций, направленных на выполнение научного проекта (приводится перечень планируемых договоров (счетов) со сторонними организациями с указанием предмета и суммы каждого договора)</p> <p style="text-align: center;">0</p>
3	<p>Расходы на приобретение оборудования и иного имущества, необходимых для проведения научного исследования (представляется перечень планируемых к закупке оборудования и иного имущества, необходимых для проведения научного исследования (в соответствии с п. 4.12 формы 4))</p> <p>Мобильная рабочая станция типа Lenovo Thinkpad X1 (3 шт.) В сумме - 600</p>
4	<p>Расходы на приобретение материалов и комплектующих для проведения научного исследования (представляется расшифровка запланированных материалов и комплектующих (в соответствии с п. 4.12 формы 4))</p> <p style="text-align: center;">0</p>
5	Иные расходы для целей выполнения проекта

(приводятся иные затраты на цели выполнения проекта, в том числе на командировки, оплату услуг связи, транспортных услуг, расходы не расшифровываются)

Командировочные расходы - 300

Подпись руководителя проекта _____/Н.И. Шакура/

Подпись руководителя организации (уполномоченного представителя, действующего на основании доверенности или распорядительного документа), **печать** (при ее наличии) **организации.**

В случае подписания формы уполномоченным представителем организации (в т.ч. – руководителем филиала) к печатному экземпляру заявки прилагается копия распорядительного документа или доверенности, заверенная печатью организации.

_____/_____/

М.П.