

**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 Сейсмология вспышечных областей на Солнце		Номер проекта 21-12-00195
		
		Код типа проекта: ОНК(2021)
		Отрасль знания: 02
		Основной код классификатора: 02-703 Дополнительные коды классификатора: 02-503
		Код ГРНТИ 41.21.19
Фамилия, имя, отчество (при наличии) руководителя проекта: Накаряков Валерий Михайлович		Контактные телефон и e-mail руководителя проекта: +79778198929, vnakariakov@googlemail.com
Полное и сокращенное наименование организации, через которую должно осуществляться финансирование проекта: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Трудового Красного Знамени Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук ИСЗФ СО РАН		
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)	Кузнецов Алексей Алексеевич Куприянова Елена Геннадьевна Сыч Роберт Андреевич <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 _____/В.М. Накаряков/		Дата регистрации заявки 07.11.2020 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

Сейсмология вспышечных областей на Солнце

на английском языке

Seismology of Flaring Regions on the Sun

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.

6. Рациональное природопользование.

21. Технологии предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

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)

H7 Возможность эффективного ответа российского общества на большие вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий, социальных институтов на современном этапе глобального развития, в том числе применяя методы гуманитарных и социальных наук

1.3. Ключевые слова (приводится не более 15 терминов)

на русском языке

Солнце, Корона, Активные области, Солнечные вспышки, МГД колебания и волны, МГД сейсмология солнечной короны, Космическая погода

на английском языке

Sun, Corona, Active regions, Solar flares, MHD oscillations and waves, MHD seismology of solar corona, Space weather

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

Представляемый проект посвящен созданию новых востребованных методов диагностики ряда основных физических параметров плазмы верхней части солнечной атмосферы - солнечной короны, и направлен на улучшение нашего понимания процессов, потенциально ответственных за геоэффективные события, таких как солнечные вспышки. Планируется разработать и применить сейсмологические методы для надежной оценки магнитного скручивания и тонкой структуры магнитоплазменных систем во вспышечных областях короны, а также внести улучшения в теорию двухленточных вспышек. Ожидаемые результаты необходимы для оценки энергии, которая может выделяться во время вспышки, а также понимания темпа энерговыделения в самых мощных вспышках, что принципиально важно для прогнозирования экстремальных событий космической погоды. Потребность в надежном прогнозировании таких событий в последнее время стала одним из приоритетов космических исследований. Совершенствуемый в данном проекте метод магнитогидродинамической (МГД) сейсмологии солнечной короны назван одним из ключевых методов в глобальной дорожной карте Комитета по космическим исследованиям (COSPAR) на 2015–2025 гг. Кроме того, этот проект будет способствовать дальнейшему углублению нашего понимания МГД-волн в неоднородной плазме с возможностью передачи полученной информации другим областям физики плазмы, таким как астрофизика, геофизика и управляемый термоядерный синтез.

Проект нацелен на решение следующих конкретных научных задач:

1. Разработка и применение новых сейсмологических методов, основанных на анализе моды перетяжек (сосисочной моды) колебаний корональных петель, для оценки их магнитного скручивания, необходимого для оценки свободной магнитной энергии во вспышечных областях солнечной короны.
2. Разработка и применение новых сейсмологических методов для диагностики поперечного структурирования плотности и температуры плазмы корональных петель с использованием стоячих и плескающих (sloshing) медленных магнитоакустических колебаний.

3. Определение физических процессов, ответственных за развитие вспышечного энерговыделения вдоль магнитной нейтральной линии в мощных двухленточных вспышках.

Новизна подхода предлагаемого исследования определяется: (а) использованием современных методов анализа нестационарных, нелинейных и многомодальных сигналов. В частности, будет применено разложение по эмпирическим модам (EMD) и Монте-Карло по схеме Марковской цепи (MCMC), попиксельная вейвлет-фильтрация (PWF) временных кубов изображений, использование проверенных и хорошо зарекомендовавших себя численных кодов (LareXd, FoMo, GX Simulator); (б) использованием данных наблюдений лучших современных космических и наземных солнечных инструментов, включая Сибирский Радиогелиограф, SDO/AIA, /HMI и Konus/Wind; (в) систематическим подходом, основанным на каталогизации многоволновых и многоинструментальных данных; (г) взаимодополняемостью анализа данных и теоретических исследований; (д) эффективным использованием магнитосферных наработок и методов в физике Солнца.

Важной целью проекта является обеспечение молодым ученым возможности интенсивной подготовки по данному направлению, включая доступ к уникальным наборам данных и пакетам программного обеспечения; повышение эффективности эксплуатации международных и национальных инструментов, в частности Сибирского Радиогелиографа, и получение опыта, необходимого для успешной эксплуатации создаваемых инструментов, в том числе российских космических миссий Интергелиозонд и АРКА, и проекта PROBA-3 Европейского космического агентства. Состав исполнителей проекта подобран таким образом, чтобы их знания и опыт позволили успешно выполнить все задачи, заявленные в проекте. Руководитель группы является научным лидером, признанным во всем мире. С 2016 года участники команды опубликовали 125 научных статей в журналах, проиндексированных Web-of-Science. Члены группы разработали несколько ключевых методов, которые будут использоваться при выполнении задач проекта, в частности, пакеты анализа данных, реализующие методы разложения по эмпирическим модам и Байесовский анализ с применением метода Монте-Карло по схеме Марковской цепи, аналитические модели, описывающие магнитогидродинамические волновые процессы в неоднородностях плазмы солнечной короны и средства моделирования солнечного радиоизлучения. Члены проекта участвуют в научных группах, связанных с наблюдательными инструментами, например, Сибирский Радиогелиограф, радиогелиограф Nobeyama, SDO/AIA, и имеют большой опыт работы в области анализа данных, находящихся в открытом доступе, таких как RHESSI.

Руководителем проекта является В.М. Накаряков, который имеет большой опыт в руководстве исследовательскими проектами (например, Накаряков был руководителем исследовательской сети «RadioSun»; Накаряков возглавлял исследовательские программы, финансируемые Европейским исследовательским советом). Также он является успешным руководителем молодых ученых (под руководством Накарякова успешно защитились 16 аспирантов). Члены российской команды, не проживающие в Иркутске, будут трудоустроены в ИСЗФ СО РАН (дистанционная работа). Приведенные выше научные задачи разбиты на три конкретных рабочих пакета, которые тесно связаны друг с другом общими методиками анализа данных и теоретического моделирования. Каждый рабочий пакет возглавит один из основных исполнителей, который будет отслеживать и координировать ход выполнения работ по своему рабочему пакету.

По итогам выполнения проекта будет опубликовано не менее 16 научных статей в ведущих международных журналах, индексируемых Web Of Science и Scopus. Полученные результаты будут также представлены на научных конференциях и в виде публичных лекций. Кроме того, данные, полученные в ходе выполнения проекта (каталог сосисочных и медленных колебаний корональных петель), будут опубликованы в открытом доступе в сети Интернет. Предлагаемый проект даст уникальную возможность расширить наши знания об основных физических процессах, происходящих на Солнце, а также разработать и применить новые методы диагностики солнечных активных областей, которые лягут в основу создания моделей с уникальными входными параметрами, востребованных для прогноза космической погоды.

на английском языке

The project is aimed at the development of novel and highly demanded methods for diagnosing the key physical parameters of the plasma in the outer part of the solar atmosphere - the solar corona. The project will improve our understanding of the processes responsible for the potentially geoeffective solar events, such as solar flares. We propose to develop and apply seismological methods for reliable estimating the magnetic twist and fine structure of the magnetic field and plasma structures in flaring regions of the corona, as well as to improve the theory of two-ribbon solar flares. The expected results are necessary for estimating the total energy that can be released during flares, as well as for estimating the energy release

rate in powerful flares, which is of key importance for forecasting extreme space weather events. The high demand for reliable forecasting of such events has recently become one of the top priorities of space science. In the Global Research Roadmap of the Committee of Space Research (COSPAR) for 2015-2025, the magnetohydrodynamic (MHD) seismology method for diagnosing the solar corona (which is the topic of this project) is listed among the key techniques. In addition, the project will strongly advance our understanding of MHD waves in inhomogeneous plasmas, with possible applications to other branches of plasma physics, including astrophysics, geophysics, and controlled fusion.

Specific scientific objectives of the project are:

1. Development of novel seismology techniques based on analyzing sausage-mode oscillations of coronal magnetic loops. Applying these techniques to estimate the magnetic twist in coronal loops, which, in turn, is necessary for the estimation of the free magnetic energy in flaring regions of the solar corona.
2. Development of novel seismological techniques based on standing and sloshing slow magnetoacoustic oscillations. Applying these techniques to diagnose the transverse structure of the plasma density and temperature in coronal magnetic loops.
3. Identifying the physical processes responsible for the progression of the flaring energy release along the magnetic neutral line in powerful two-ribbon flares.

The main novel features of the proposed research are: (a) Using the state-of-art data analysis methods that address specifically the non-stationary, non-linear and multi-modal nature of the signals, such as the Empirical Mode Decomposition (EMD) and Markov Chain Monte-Carlo (MCMC) methods and Pixelized Wavelet Filtration (PWF) of data cubes, as well as using the well-tested and reliable numerical simulation codes, such as MPI-AMRVAC, FoMo and GX Simulator. (b) Using the observational data provided by the best available space-borne and ground-based solar-oriented instruments, including the Siberian Radioheliograph, SDO/AIA and HMI, and Konus-Wind. (c) The systematic approach based on creating and analyzing catalogues of multi-wavelength and multi-instrumental data. (d) Synthesis and cross-fertilisation of theoretical and data-analysis activities. (e) Effective knowledge transfer from the magnetospheric physics and other branches of solar physics.

An important aim of the project is to provide early career researchers with intensive training in relevant aspects of the research, including access to unique data sets and software packages. The project results will enhance greatly the scientific outcome of the Russian and international observational facilities, including the Siberian Radioheliograph, as well as the forthcoming instruments and space missions, including the InterHelioProbe and ARKA (Russia) and PROBA-3 (ESO). The project team has been selected to ensure that all proposed project goals will be achieved, due to the vast experience and expertise of the participants. The PI is a world-renowned scientific leader. Since 2016, the project participants have published 125 research papers in the journals indexed by the Web-of-Science. The project participants have developed several key methods to be used in the project, including the data analysis packages implementing the Empirical Mode Decomposition and Markov Chain Monte-Carlo methods, the analytical models describing MHD wave processes in inhomogeneous plasma of the solar corona, and tools for simulating the solar radio emission. The project team members also participate in science teams of relevant observational facilities, such as the Siberian Radioheliograph, Nobeyama Radioheliograph, and SDO/AIA; and they have vast experience in analyzing open-access observational data, such as those of RHESSI.

The project will be managed by V.M. Nakariakov, who has vast experience in leading research projects. In particular, he has been the PI of the "RadioSun" research network and several other programs of the European Research Council. He is also a successful supervisor of younger colleagues, having supervised 16 successful PhD students. The project participants who are not based in Irkutsk, will be employed at ISTP SB RAS in a form of the remote work agreement. The above-mentioned scientific objectives are split into three specific work packages that are closely linked with each other by the common data analysis and theoretical modeling methodologies. Each work package will be managed by an assigned leader, who will monitor and coordinate the relevant activities.

As an outcome of the project, we are going to publish at least 16 research papers in leading scientific journals indexed by the Web-of-Science and Scopus. The project results will also be disseminated via scientific conferences and public lectures. In addition, the obtained data products (such as catalogues of sausage and longitudinal oscillations of coronal loops) will be made openly available online. The proposed project offers a unique opportunity to advance our knowledge of the basic physical processes on the Sun, and develop and apply novel diagnostic techniques that will provide highly demanded space weather forecasting models with unique input parameters.

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

По окончании выполнения проекта будут получены следующие результаты:

- 1) Теоретическая зависимость параметров сосисочных колебаний от параметров магнитного скручивания и кривизны колеблющейся петли.
- 2) Новые сейсмологические методы оценки магнитного скручивания в расширяющихся вспышечных петлях.
- 3) Оценка параметров магнитного скручивания и связанных с ним значений свободной магнитной энергии, а также их возможная эволюция во время вспышки.
- 4) Усовершенствованная модель медленных магнитозвуковых колебаний в корональной петле, учитывающая поперечную структуры плазмы в магнитной трубке, магнитное скручивание и кривизну петли при медленных колебаниях.
- 5) Новые сейсмологические методы исследования поперечного структурирования плазмы в петле.
- 6) Определение распределения температуры и плотности в неоднородной модели корональной петли и ее зависимость от параметров петли.
- 7) Новая информация, помогающая интерпретировать наблюдаемые скорости развития энерговыделения вдоль нейтральной линии и, соответственно, мощности вспышки.
- 8) Модель хлопающих (flapping) волн в трехмерных корональных токовых слоях с неоднородностями вдоль нейтральной линии.
- 9) Сейсмологический метод диагностики пересоединяющихся токовых слоев в мощных двухленточных эруптивных вспышках.

В результате выполнения проекта будут разработаны методы для получения нескольких важных входных параметров для прогнозирования космической погоды. Эти параметры будут встроены в модели, используемые национальными и международными центрами оперативного и глобального прогнозирования космической погоды, необходимого для авиации, наземного транспорта и спутниковых систем навигации и связи. Результаты проекта будут доступны в виде публикаций в ведущих международных и национальных научных журналах, презентаций на научных конференциях и веб-сайте проекта.

на английском языке

The project will result in the following scientific outcomes:

- 1) Theoretical dependence of parameters of sausage oscillations on the magnetic twist and curvature of the oscillating loop.
- 2) Novel seismological techniques for estimating the magnetic twist in expanding flaring loops.
- 3) Estimation of the magnetic twist parameters and corresponding free magnetic energy, as well as reconstruction of their possible evolution during a flare.
- 4) An advanced model of slow magnetoacoustic oscillations in a coronal loop, accounting for the transverse plasma structuring in a magnetic tube, magnetic twist and loop curvature.
- 5) Novel seismological techniques for probing transverse plasma structuring of coronal loops.
- 6) Determining the distributions of the plasma density and temperature in inhomogeneous coronal loops, as well as the dependence of these distributions on the loop's parameters.
- 7) New observational data about the speed of a flare progression along a neutral line and hence about the flare power.
- 8) Model of flapping waves in 3D coronal current sheets with inhomogeneities along the neutral line.
- 9) A seismological method for diagnosing the reconnecting current sheets in powerful two-ribbon eruptive flares.

The project will provide the methods for estimation of several crucial input parameters for space weather forecasting models. These parameters will be incorporated into the models used by Russian and international centers for the operative and global Space Weather forecasting required by aviation, ground-based transport, and satellite-based navigation and communication systems. The project results will be disseminated via publications in leading Russian and international research journals, presentations at research conferences, and via the project web site.

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.

10 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:

2 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) Накаряков Валерий Михайлович (руководитель проекта), 55 года, к.ф.-м.н., Doctor of Science, ведущий научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук (САО РАН, Карачаево-Черкесская Республика), трудовой договор.
- 2) Кузнецов Алексей Алексеевич (основной исполнитель), 45 лет, д.ф.-м.н., зав. лаб. ИСЗФ СО РАН, трудовой договор.
- 3) Сыч Роберт Андреевич (основной исполнитель), 58 лет, к.ф.-м.н., в.н.с. ИСЗФ СО РАН, трудовой договор.
- 4) Куприянова Елена Геннадьевна (основной исполнитель), 45 лет, к.ф.-м.н., с.н.с., Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория Российской академии наук (ГАО РАН, Санкт-Петербург), трудовой договор.
- 5) Алтынцев Александр Тимофеевич (исполнитель), 74 года, д.ф.-м.н., руководитель научного направления, ИСЗФ СО РАН, трудовой договор.
- 6) Анфиногентов Сергей Александрович (исполнитель), 35 лет, к.ф.-м.н., научный сотрудник, ИСЗФ СО РАН, трудовой договор.
- 7) Колотков Дмитрий Юрьевич (исполнитель), 30 лет, PhD (2017), н.с. ИСЗФ СО РАН, трудовой договор.
- 8) Ларионова Алена Игоревна (исполнитель), 32 года, к.ф.-м.н., научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория Российской академии наук (ГАО РАН, Санкт-Петербург), трудовой договор.
- 9) Каракотов Руслан Романович (исполнитель), 23 года, студент (магистратура), Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО» (Санкт-Петербург), трудовой договор.
- 10) Феденёв Виктор Васильевич (исполнитель), 21 год, студент бакалавриата Иркутского Государственного Университета, трудовой договор.

на английском языке

- 1) Valery Nakariakov (PI), 55 years, Candidate of Sciences (Russia), Doctor of Science (UK), Leading researcher, the Special Astrophysical Observatory (Saint Petersburg, Russia).
- 2) Alexey Kuznetsov (main Co-I), 45 years, Doctor of Sciences (Russia), Laboratory Head, Institute of Solar-Terrestrial Physics (Irkutsk, Russia).
- 3) Robert Sych (main Co-I), 58 years, Candidate of Sciences (Russia), Leading Researcher, Institute of Solar-Terrestrial Physics (Irkutsk, Russia).
- 4) Elena Kupriyanova (main Co-I), 45 years, Candidate of Sciences (Russia), Senior Researcher, Main (Pulkovo) Astronomical Observatory (Saint Petersburg, Russia).
- 5) Alexander Altyntsev (Co-I), 74 years, Doctor of Sciences (Russia), Scientific Direction Head, Institute of Solar-Terrestrial Physics (Irkutsk, Russia).
- 6) Sergey Anfinogentov (Co-I), 35 years, Candidate of Sciences (Russia), Researcher, Institute of Solar-Terrestrial Physics (Irkutsk, Russia).
- 7) Dmitrii Kolotkov (Co-I), 30 years, PhD (UK), Researcher, Institute of Solar-Terrestrial Physics (Irkutsk, Russia).
- 8) Alyona Rodionova (Co-I), 32 years, Candidate of Sciences (Russia), Researcher, Main (Pulkovo) Astronomical Observatory (Saint Petersburg, Russia).
- 9) Ruslan Karakotov (Co-I), 23 years, undergraduate student, ITMO University (Saint-Petersburg, Russia).
- 10) Victor Fedenyov (Co-I), 21 years, undergraduate student, Irkutsk State University (Irkutsk, Russia).

Соответствие профессионального уровня членов научного коллектива задачам проекта

на русском языке

Руководитель коллектива является признанным мировым научным сообществом авторитетом в области исследований проекта. Его вклад в МГД сейсмологию солнечной короны был признан и поддержан престижным индивидуальным грантом (Advanced Fellowship) Европейского исследовательского совета, полученными в 2013–2018 гг. В 2015 г. В.М. Накарьяков был награжден Институтом Физики (Великобритания) медалью и премией Пейн-Гапошкиной. Работы членов коллектива в области тематики проекта неоднократно попадали в списки лучших научных работ их институтов (ИСЗФ СО РАН, ГАО РАН). В составе коллектива 2 д.ф.-м.н. и 5 к.ф.-м.н., активно работающих в области проекта. За последние 5 лет коллективом опубликовано 125 научных статей в изданиях, индексируемых в Web of Science Core Collection, в том числе 89 публикаций в изданиях (Astrophysical Journal, Astronomy & Astrophysics, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Space Science Reviews, и др.), входящих в первый квартиль Q1. Большинство этих работ связаны с тематикой проекта.

Приведем основные недавние (с 2016 г.) результаты членов коллектива, имеющие непосредственное отношение к предлагаемому проекту: каталог и статистический анализ событий затухающих изгибных колебаний корональных петель за 24-й солнечный цикл (Nechaeva et al., 2019); выявление зависимости свойств стоячих медленных колебаний от температуры плазмы и зависимости добротности колебаний от их относительной амплитуды (Nakariakov et al., 2019); теоретические модели сосисочных колебаний плазменного цилиндра с поверхностным током (Lim et al., 2018) и коротковолновых (гофрировочных) возмущений в плазменной аркаде (Klimushkin et al., 2017); выявление влияния дисбаланса локального теплового равновесия на медленные волны (Nakariakov et al., 2017, Kolotkov et al. 2019, Zavershinskii et al 2019); 2D-модель, описывающая мультимодальные сосисочные колебания петли с потенциальным магнитным полем (Pascoe & Nakariakov, 2016); демонстрация сходства затухающих длиннопериодических колебаний в солнечных и звездных вспышках (Cho et al., 2016); разработка сейсмологического метода оценки непотенциального поля в плазменной петле (Magyar & Nakariakov 2020); обнаружение квазипериодической модуляции вспышечного излучения в диапазоне от жесткого рентгена до метровых радиоволн (Kupriyanova et al., 2016); выявление квазипериодического процесса выделения энергии без дополнительных источников энергии во время фазы спада солнечной вспышки (Kupriyanova et al., 2019); интерпретация субсекундных микроволновых всплесков в терминах ускорения электронов при повторяющемся магнитном пересоединении (Mészárosóvá, et al. 2016); статистическое исследование пространственно-временной динамики источников жестких рентгеновских пульсаций в солнечных вспышках (Kuznetsov et al., 2016) и определение магнитной структуры вспышечных областей, производящих такие пульсации (Zimovets et al., 2018); первое непосредственное подтверждение (на основе многоволновых наблюдений) стохастического механизма ускорения частиц в солнечных вспышках (Kontar et al. 2017a), выявление доминирующей роли плазменной турбулентности в формировании наблюдаемых характеристик солнечных радиовсплесков метрового диапазона с тонкой спектральной структурой (Kontar et al. 2017b; Kuznetsov & Kontar 2019; Kuznetsov et al. 2020); интерпретация необычного радиоcontinuum и движущих источников рентгеновского излучения в начале импульсной фазы вспышки как результат взаимодействия поднимающегося вверх волокна с вышележащими магнитными петлями (Karlicky et al., 2020); численное моделирование параметров распространяющихся волн в магнитных трубках, заякоренных в солнечных пятнах (Chmielewski, et al., 2016); исследование связи вспышечных процессов с изменениями поляризации излучения на динамических радиоспектрах (Chernov, et al., 2016). Участники научного коллектива являются авторами обзоров, посвященным классификации механизмов квазипериодических пульсаций (КПП) в солнечных вспышках и их наблюдательных проявлений, а также методам их детектирования и анализа (McLaughlin, Nakariakov, Dominique et al., 2018; Куприянова и др., 2020).

на английском языке

The project PI, V.M. Nakariakov, is a world-renowned leader in the project research field. His contribution to the MHD seismology of the solar corona has been acknowledged and supported by prestigious Advanced Fellowship of the European Research Council in 2013-2018. In 2015, V.M. Nakariakov was awarded the Institute of Physics' (UK) Payne-Gaposchkin Medal and Prize. Many publications of the project participants related to the project field of research have been recognized as the best works in the respective institutions (ISTP SB RAS, CAO RAS). The project team includes 2 Doctors of Science and 5 Candidates of Science, who are actively working in the project field of research. In the recent 5 years, the project participants have published 125 research papers in the scientific journals indexed by the Web of Science Core Collection, including 89 papers in the Q1 journals (such as Astrophysical Journal, Astronomy & Astrophysics, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Space Science Reviews); most of these publications are related to the project topics.

Among the most important recent (since 2016) scientific achievements of the project participants, closely related to the

proposed project, are the following: a catalogue and statistical analysis of the events with decaying kink-mode oscillations of coronal loops in the 24th solar cycle (Nechaeva et al., 2019); revealing the dependence of properties of standing slow oscillations on the plasma temperature and the dependence of the oscillations quality on their relative amplitude (Nakariakov et al., 2019); theoretical models of sausage oscillations of a plasma cylinder with a surface current (Lim et al., 2018) and short-wave (corrugation) disturbances in a plasma arcade (Klimushkin et al., 2017); revealing the influence of the local thermal equilibrium misbalance on the slow waves (Nakariakov et al., 2017, Kolotkov et al. 2019, Zavershinskii et al 2019); a 2D model describing multi-modal sausage oscillations of a loop with a potential magnetic field (Pascoe & Nakariakov, 2016); demonstration of similarities between decaying long-period quasi-periodic pulsations in solar and stellar flares (Cho et al., 2016); seismological method for estimation of the non-potential field in a plasma loop (Magyar & Nakariakov 2020); discovery of the quasi-periodic modulation of flaring emissions in the range from hard X-rays to metric radio waves (Kupriyanova et al., 2016); revealing the quasi-periodic energy release process without additional energy sources in the decay phase of a solar flare (Kupriyanova et al., 2019); interpretation of sub-second microwave bursts by the electron acceleration caused by recurrent magnetic reconnection (Mészárosová, et al. 2016); statistical analysis of the spatial and temporal dynamics of the sources of hard X-ray pulsations in solar flares (Kuznetsov et al., 2016) and determining the magnetic structure of the flaring regions where these pulsations occur (Zimovets et al., 2018); first direct confirmation (using multiwavelength observations) of the stochastic particle acceleration mechanism in solar flares (Kontar et al. 2017a); revealing the dominant role of plasma turbulence in the formation of the observed characteristics of the solar metric radio bursts with a fine spectral structure (Kontar et al. 2017b; Kuznetsov & Kontar 2019; Kuznetsov et al. 2020); interpretation of a peculiar radio continuum and moving X-ray sources at the beginning of the impulsive flare phase by the interaction of a rising magnetic rope with overlying magnetic loops (Karlíček et al., 2020); numerical simulations of propagating MHD waves in magnetic loops anchored in sunspots (Chmielewski, et al., 2016); revealing the relation between the flaring processes and variations of the emission polarization in dynamic radio spectra (Chernov, et al., 2016). The project participants have published several reviews on the classification of the quasi-periodic pulsations (QPPs) and their observable manifestations in solar flares, as well as on the QPP detection and analysis methods (McLaughlin, Nakariakov, et al., 2018; Kupriyanova, Kolotkov, Nakariakov et al., 2020).

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 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 учитывается как две публикации.

16 публикаций,

из них

16 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
Astronomy and Astrophysics; импакт-фактор 5.636; Q1; индексируется в «Сеть науки» (Web of Science Core Collection), «Скопус» (Scopus), РИНЦ; публикация статей.

The Astrophysical Journal; импакт-фактор 5.745; Q1; индексируется в «Сеть науки» (Web of Science Core Collection), «Скопус» (Scopus), РИНЦ; публикация статей.

Monthly Notices of the Royal Astronomical Society; импакт-фактор 5.356.; Q1; индексируется в «Сеть науки» (Web of Science Core Collection), «Скопус» (Scopus), РИНЦ; публикация статей.

Solar Physics; импакт-фактор 2.503; Q2; индексируется в «Сеть науки» (Web of Science Core Collection), «Скопус» (Scopus), РИНЦ; публикация статей.

Солнечно-земная физика (Переводная версия: Solar-Terrestrial Physics), Импакт-фактор РИНЦ 2017 0,246; Web of

Science Emerging Sources Citation Index; индексируется в РИНЦ и «Сеть науки» (Web of Science Core Collection); публикация статей.

Письма в Астрономический Журнал (Переводная версия: Astronomy Letters), импакт-фактор 1.489; Q3; индексируется в «Сеть науки» (Web of Science Core Collection), «Скопус» (Scopus), в РИНЦ; публикация статей.

Астрономический Журнал, (переводная версия: Astronomy Reports), импакт-фактор 1.164; Q4; индексируется в «Сеть науки» (Web of Science Core Collection), «Скопус» (Scopus), в РИНЦ; публикация статей.

Иные способы обнародования результатов выполнения проекта

Доклады на российских и международных научных конференциях; чтение публичных лекций, публикация статей в научно-популярных журналах; на веб-сайте проекта в сети Интернет.

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

125, из них

125 – 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)

Планируется участие в рабочих совещаниях Международного Института Космических Исследований (ISSI).

Планируется участие в международных научных коллаборациях WISA (Waves and Instabilities in the Solar Atmosphere), WaLSA (Waves in the Lower Solar Atmosphere) и Square Kilometre Array (SKA, Накаряков - Co-учредитель рабочей группы по Физике Солнца и Гелиосферы).

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 _____/В.М. Накаряков/

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

Накаряков Валерий Михайлович

на английском языке фамилия и инициалы

Nakariakov V.

WoS ResearcherID (при наличии)

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

<https://publons.com/researcher/E-2375-2013/>

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/0000-0001-6423-8286>

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

20.10.1965

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, 1993

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

Медаль Пейн-Гапошкиной Института Физики (2015)

Президент Отделения Физики Солнца Европейского Физического Общества (ESPD, 2011-2014)

Член Бюро Европейского Физического Общества (2012-2015)

ERC Advanced Investigator (2013-2018)

Член Международного Комитета Королевского Астрономического Общества

Председатель Сообщества Физики Солнца Великобритании (UKSP, 2009-2013)

Член Бюро Королевского Астрономического Общества (2007-2009)

JSPS Invitation Fellowship for Research, Japan, 2012.

Royal Society Leverhulme Trust Senior Research Fellowship, 2004

Член Международного Астрономического Союза (IAU)

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.

ведущий научный сотрудник, федеральное государственное бюджетное учреждение науки Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук (САО РАН, Карачаево-Черкесская Республика)

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

на русском языке

МГД волны, физика Солнца, радиофизика, физика плазмы

на английском языке

MHD waves, Solar Physics, Radiophysics, Plasma physics

2.8. Область научных интересов – коды по классификатору Фонда

02-402 02-503 02-703

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

Ten selected publications in last five years in refereed journals.

Impact factors: Space Sci. Rev. - 9.327, Astrophys. J. - 5.551; Astrophys. J. Lett. - 6.634; Astron. Astrophys. - 5.565; Plasma Phys. Cont. Fusion - 3.032

1. Nakariakov, V. M., Kosak, M. K., Kolotkov, D. Y., Anfinogentov, S. A., Kumar, P., Moon, Y.-J., Properties of slow magnetoacoustic oscillations of solar coronal loops by multi-instrumental observations, *Astrophys. J. Lett.* 874, L1, 2019, DOI: 10.3847/2041-8213/ab0c9f (WoS Q1 in 2017)
2. Nakariakov, V. M., Kolotkov, D. Y., Kupriyanova, E. G., Mehta, T., Pugh, C. E., Lee, D.-H., Broomhall, A.-M., Non-stationary quasi-periodic pulsations in solar and stellar flares, *Plasma Phys. Cont. Fusion* 61, 014024, 2019. DOI: 10.1088/1361-6587/aad97c
3. Nakariakov, V.M., Anfinogentov, S., Storozhenko, A.A., Kurochkin, E.A., Bogod, V.M., Sharykin, I.N., Kaltman, T.I., Quasi-periodic pulsations in a solar microflare, *Astrophys. J.* 859, 154, 2018, DOI: 10.3847/1538-4357/aabfb9 (WoS Q1 in 2017)
4. McLaughlin, J. A., Nakariakov, V. M., Dominique, M., Jelínek, P., Takasao, S., Modelling quasi-periodic pulsations in solar and stellar flares, *Space Sci. Rev.* 214, 45, 2018, DOI: 10.1007/s11214-018-0478-5 (WoS Q1 in 2017)
5. Nakariakov, V.M., Afanasyev, A.N., Kumar, S., Moon, Y.-J., Effect of local thermal equilibrium misbalance on long-wavelength slow magnetoacoustic waves, *Astrophys. J.* 849, 62, 2017, DOI: 10.3847/1538-4357/aa8ea3 (WoS Q1 in 2017)
6. Kumar, P., Nakariakov, V.M., Cho, K.-S., Quasi-periodic radio bursts associated with fast-mode waves near a magnetic null point, *Astrophys. J.* 844, 149, 2017, DOI: 10.3847/1538-4357/aa7d53 (WoS Q1 in 2017)
7. Shestov, S.V., Nakariakov, V. M., Ulyanov, A. S., Reva, A. A., Kuzin, S. V., Nonlinear evolution of short-wavelength torsional Alfvén waves, *Astrophys. J.* 840, 64, 2017, DOI: 10.3847/1538-4357/aa6c65 (WoS Q1 in 2017)
8. Kumar, P., Nakariakov, V.M., Cho, K.-S., Observation of a short period quasi-periodic pulsation in solar X-ray, microwave and EUV emissions, *Astrophys. J.* 836, 121, 2017, DOI: 10.3847/1538-4357/836/1/121 (WoS Q1 in 2017)
9. Nakariakov, V. M., Anfinogentov, S., Nistico, G., Lee, D.-H., Undamped transverse oscillations of coronal loops as a self-oscillatory process, *Astron. Astrophys.* 591, L5, 2016, DOI:10.1051/0004-6361/201628850 (WoS Q1 in 2017)
10. Nakariakov, V.M., et al., Magnetohydrodynamic Oscillations in the Solar Corona and Earth's Magnetosphere: Towards Consolidated Understanding, *Space Sci. Rev.* 200, 75-203, 2016, DOI: 10.1007/s11214-015-0233-0 (WoS Q1 in 2017)

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 18 публикаций в изданиях, индексируемых в Web of Science Core Collection, Scopus.

Перечень содержит 9 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

Определение нелинейного характера затухания изгибных колебаний солнечных корональных арок.

- Разработка автоколебательной модели незатухающих изгибных колебаний солнечных корональных арок.
- Демонстрация появления сосисочных колебаний в зебра-структурах в радиоизлучении Солнца.
- Демонстрация сейсмологической оценки свободной магнитной энергии в предвспышечной корональной петле.
- Выявление сосисочных колебаний в солнечной микровспышке.
- Теория сосисочных колебаний в токнесущих корональных петлях.
- Сейсмологическая оценка ускорения солнечного ветра в средней короне.
- Создание полных каталогов изгибных колебаний корональных петель.
- Демонстрация подобия статистических свойств квазипериодических пульсаций в солнечных и звездных вспышках.

на английском языке

- Determination of the nonlinear nature of the damping of kink oscillations of solar coronal loops.
- Development of a self-oscillatory model of decayless kink oscillations of solar coronal loops.
- Demonstration of the appearance of sausage oscillations in radio zebra-patterns.
- Demonstration of the seismological estimation of free magnetic energy in a pre-flaring coronal loop.
- Identification of sausage oscillations in a solar micro-flare.
- Theory of sausage oscillations in current-carrying coronal loops.
- Seismological estimation of the solar wind acceleration in the middle corona.
- Creation of comprehensive catalogues of kink oscillations of coronal loops.
- Demonstration of the similarity of statistical properties of quasi-periodic pulsations in solar and stellar flares.

2.11. Общее число публикаций за период с 1 января 2016 года, 85, из них:

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

в том числе 67 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

Monograph:

1. AGU monograph "Low-Frequency Waves in Space Plasmas", Eds. A. Keiling, D.-H. Lee, V. Nakariakov, Wiley-VCH, 2016, ISBN: 978-1-119-05495-5

Nine selected additional publications:

1. Nakariakov, V.M., Kolotkov, D.Y., Magnetohydrodynamic waves in the solar corona, Ann. Rev. Astron. Astrophys. 58, 441-481, 2020, DOI: 10.1146/annurev-astro-032320-042940
2. Cho, I.-H., Nakariakov, V.M., Moon, Y.-J., Lee, J.-Y., Yu, D.J., Cho, K.-S., Yurchyshyn, V., Lee, H., Accelerating and supersonic density fluctuations in coronal hole plumes: signature of nascent solar winds, Astrophys. J. Lett. 900, L19, 2020, DOI: 10.3847/2041-8213/abb020
3. Magyar, N., Nakariakov, V.M., Standing kink waves in sigmoid coronal loops: implications for coronal seismology, Astrophys. J. Lett. 894, L23, 2020, DOI: 10.3847/2041-8213/ab8e36
4. Yu, D.J., Nakariakov, V.M., Excitation of negative energy surface magnetohydrodynamic waves in an incompressible

cylindrical plasma, *Astrophys. J.* 896, 21, 2020, DOI: 10.3847/1538-4357/ab8d3c

5. Lim, D., Nakariakov, V.M., Yu, D.J., Cho, I.-H., Moon, Y.-J., Higher radial harmonics of sausage oscillations in coronal loops, *Astrophys. J.* 893, 62, 2020, DOI: 10.3847/1538-4357/ab7d3d

6. Anfinogentov, S.A., Nakariakov, V.M., Magnetohydrodynamic seismology of quiet solar active regions, *Astrophys. J. Lett.* 884, L40, 2019, DOI: 10.3847/2041-8213/ab4792

7. Goddard, C. R., Nakariakov, V. M., Pascoe, D. J., Fast magnetoacoustic wave trains with time-dependent drivers, *Astron. Astrophys.* 624, L4, 2019, DOI: 10.1051/0004-6361/201935401

8. Nechaeva, A., Zimovets, I.V., Nakariakov, V.M., Goddard, C.R., Catalog of decaying kink oscillations of coronal loops in the 24th solar cycle, *Astrophys. J. Suppl. Ser.* 241, 31, 2019, DOI: 10.3847/1538-4365/ab0e86

9. Kolotkov, D.Y., Nakariakov, V.M., Kontar, E.P., The origin of the modulation of the radio emission from the solar corona by a fast magnetoacoustic wave, *Astrophys. J.* 861, 33, 2018, DOI: 10.3847/1538-4357/aac77e

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

* Международный Координатор проекта БРИКС "Супервспышки на звездах и Солнце" (2018-2020), состоящего из исследовательских групп России, Китая и Индии.

* Со-руководитель проекта Institutional Links British Council (2017-19)

* Руководитель проекта MC IRSES "RadioSun" network (2012-2016), состоящего из исследовательских групп Великобритании, Китая, Чешской Республики, Польши и России

* Ведущий исследователь в проекте "Magnetohydrodynamic Wave Diagnostics of the Solar Atmosphere in the Era of Transformative High-Resolution Observations" (2013-2018)

* Руководитель международной группы «Magnetohydrodynamic Seismology of the Solar Corona in the Era of SDO/AIA» Международного Института Космической Физики (International Space Science Institute in Beijing). Группа состоит из ученых из Великобритании, России, Китая, Индии, Бельгии.

* Руководитель международной группы «МГД колебания с Солнечной короне и Земной Магнитосфере: от сбора данных к их пониманию» Международного Института Космической Физики (International Space Science Institute) (2012-2014). Группа состоит из ученых из Великобритании, Бельгии, Венгрии, Чешской Республики, Японии, России.

* Ассоциированный исследователь в космическом проекте Atmospheric Imaging Assembly/ Solar Dynamics Observatory (AIA/SDO)

* Член научных команд в проектах Solar Orbiter, HiRISE, SPARK and PROBA-3.

на английском языке

* International Coordinator of the BRICS project "Superflares on the Sun and stars" (consisting of research teams from Russia, China and India).

* Co-PI of the Institutional Links British Council project (2017-19)

* PI of the MC International Research Staff Exchange (IRSES) project "Radiophysics of the Sun" network (2012-2016), consisting of research teams from the UK, China, Czech Rep., Poland and Russia.

* ERC Advanced Investigator project "Magnetohydrodynamic Wave Diagnostics of the Solar Atmosphere in the Era of Transformative High-Resolution Observations" (2013-2018)

• Leader of the International Space Science Institute's International Team "Magnetohydrodynamic Seismology of the Solar Corona in the Era of SDO/AIA" consisting of scientists from UK, Belgium, China, India, Russia, S Korea.

• Leader of the International Space Science Institute's International Team " MHD Oscillations in the Solar Corona and Earth's Magnetosphere: Towards Consolidated Understanding" (2012-2014) consisting of scientists from UK, Belgium, Hungary, Czech Rep., Japan, Russia, Ukraine.

• Associated Investigator of the Atmospheric Imaging Assembly of the Solar Dynamics Observatory (AIA/SDO).

* Science team member of the Solar Orbiter, HiRISE, SPARK and PROBA-3 missions.

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

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

Общее количество – 5, из них:

руководство – 1, участие в качестве исполнителя – 4,

а именно:

Гос. задание CAO РАН: - исполнитель;

Грант РФФ (данный) - руководитель;

Грант РФФИ 18-29-21016 - исполнитель;

Грант РФФ "Передовая диагностика солнечных активных областей гигантскими телескопами" (заявка рассматривается) - исполнитель;

Проект фундаментальных научных исследований, проводимый совместно РФФИ и Японским обществом продвижения науки (подана заявка) - исполнитель.

(указываются в том числе грантодатели или заказчики проектов и источник финансирования, например – государственное задание учредителя, гранты РФФИ, ФПИ, 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): **нет**;

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

*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)

Накаряков имеет более чем 25-ти летний опыт преподавательской работы, включая руководство студентами, аспирантами:

- 1999 – по настоящее время: (полная ставка) преподаватель, старший преподаватель, ридер и с 2007 должность и звание профессора университета Ворвик, Великобритания; чтение курсов по физике плазмы, общей геофизики, и программированию; разработка и чтение лекций по электродинамике, электродинамике плазмы, солнечной магнитогидродинамике; разработка экзаменов и учебных пособий; разработка и руководство дипломными работами, руководство проектами по научной журналистике; руководство магистерскими и аспирантскими исследовательскими проектами; участие в совете по учебным делам, экзаменационной комиссии, комитете по взаимодействию между студентами и преподавателями в университете.
- Накаряков регулярно читает лекции на российских, британских и международных летних школах и курсы для аспирантов, включая недавние курсы по физике Солнца во ВШЭ (Россия, 10 лекций, 2017), Harbin Institute of Technology in Shenzhen (China, 15 лекций, 2019), Kyung Hee University (Korea, 8 лекций, 2015), Monash University (Australia, 4 лекций, 2014), 4 lectures at the School on Modern Astronomy (Санкт Петербург, Россия, 2014); и регулярные приглашенные лекции на Advanced and Introductory PPARC/STFC Summer Schools on Space and Solar Physics, Великобритания (2000-2017).
- Курс солнечной магнитогидродинамики из 15 лекций, разработанный Накаряковым получил награду the Stars of Warwick 2012 как лучший курс для магистров.

Руководил 16 успешно защищенными PhD диссертантами (из них после 2014: Dr L Selzer, Dr C Hornsey, Dr D Kolotkov, Dr C Goddard, Dr C Pugh, Dr T Duckenfield). Руководил 17 пост докторантскими исследовательскими проектами (из них после 2014: Dr Nistico, Dr Pascoe, Dr Radcliffe, Dr Yuan, Dr Broomhall, Dr Goddard, Dr Kolotkov, Dr Goddard, Dr Anfingentov, Dr Magyar, Dr Duckenfield). Все бывшие докторанты получили более высокие должности в университетах Великобритании, Европы и в России.

2.18. Почтовый адрес

19 Sidelands Road, Stratford-upon-Avon CV37 9DS, UK

2.19. Контактный телефон

+79778198929

2.20. Электронный адрес (E-mail)

vpakariakov@googlemail.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

Файл, скачать

на английском языке

Файл (en), скачать

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	Накаряков Валерий Михайлович
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	19 Sidelands Road, Stratford-upon-Avon CV37 9DS, UK
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 _____/В.М. Накаряков/

Дата подписания «___» _____ 2020 г.

Форма 2. Сведения об основном исполнителе проекта

2.1. Фамилия, имя, отчество (при наличии)

на русском языке

Кузнецов Алексей Алексеевич

на английском языке фамилия и инициалы

Kuznetsov A.A.

WoS ResearcherID (при наличии)

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

<https://publons.com/researcher/Q-9294-2016/>

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=35227556900>

ORCID (при наличии)

Можно получить, зарегистрировавшись по адресу orcid.org.

<https://orcid.org/0000-0001-8644-8372>

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

15.11.1974

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, 2014

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

Член Сообщества Европейских Солнечных Радиоастрономов (Community of European Solar Radio Astronomers, CESRA).

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

заведующий лабораторией, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Трудового Красного Знамени Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЗФ СО РАН, Иркутская обл)

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

на русском языке

физика плазмы; радиоизлучение в плазме; солнечные вспышки; радиоизлучение Солнца; радиоизлучение звезд; численные методы

на английском языке

plasma physics; plasma radio emission; solar flares; solar radio emission; stellar radio emission; numerical methods

2.8. Область научных интересов – коды по классификатору Фонда

01-218 02-503 02-703 02-704

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

12 - 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 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.A. Kuznetsov, N. Chrysaphi, E.P. Kontar, G. Motorina, Radio Echo in the Turbulent Corona and Simulations of Solar Drift-pair Radio Bursts, *Astrophysical Journal*, v. 898, id. 94, 2020. Impact factor: 5.745. <https://doi.org/10.3847/1538-4357/aba04a>
2. A.A. Kuznetsov, E.P. Kontar, First imaging spectroscopy observations of solar drift pair bursts, *Astronomy & Astrophysics*, v. 631, id. L7, 2019. Impact factor: 5.636. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201936447>
3. M. Gordovskyy, E. Kontar, P. Browning, A. Kuznetsov, Frequency–Distance Structure of Solar Radio Sources Observed by LOFAR, *Astrophysical Journal*, v. 873, id. 48, 2019. Impact factor: 5.745. <https://doi.org/10.3847/1538-4357/ab03d8>
4. I.N. Sharykin, E.P. Kontar, A.A. Kuznetsov, LOFAR Observations of Fine Spectral Structure Dynamics in Type IIIb Radio Bursts, *Solar Physics*, v. 293, id. 115, 2018. Impact factor: 2.503. <https://doi.org/10.1007/s11207-018-1333-2>
5. I.N. Sharykin, A.A. Kuznetsov, I.I. Myshyakov, Probing Twisted Magnetic Field Using Microwave Observations in an M Class Solar Flare on 11 February, 2014, *Solar Physics*, v. 293, id. 34, 2018. Impact factor: 2.503. <https://doi.org/10.1007/s11207-017-1237-6>
6. G.M. Nita, N.M. Viall, J.A. Klimchuk, M.A. Loukitcheva, D.E. Gary, A.A. Kuznetsov, G.D. Fleishman, Dressing the Coronal Magnetic Extrapolations of Active Regions with a Parameterized Thermal Structure, *Astrophysical Journal*, v. 853, id. 66, 2018. Impact factor: 5.745. <https://doi.org/10.3847/1538-4357/aaa4bf>
7. E.P. Kontar, S. Yu, A.A. Kuznetsov, A.G. Emslie, B. Alcock, N.L.S. Jeffrey, V.N. Melnik, N.H. Bian, P. Subramanian, Imaging spectroscopy of solar radio burst fine structures, *Nature Communications*, v. 8, id. 1515, 2017. Impact factor: 12.121. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-01307-8>
8. S.V. Lesovoi, A.T. Altyntsev, A.A. Kochanov, V.V. Grechnev, A.V. Gubin, D.A. Zhdanov, E.F. Ivanov, A.M. Uralov, L.K. Kashapova, A.A. Kuznetsov, N.S. Meshalkina, R.A. Sych, Siberian Radioheliograph: First results, *Solar-Terrestrial Physics*, v. 3, No. 1, p. 3, 2017. https://doi.org/10.12737/article_58f96ec60fec52.86165286
9. E.P. Kontar, J.E. Perez, L.K. Harra, A.A. Kuznetsov, A.G. Emslie, N.L.S. Jeffrey, N.H. Bian, B.R. Dennis, Turbulent Kinetic Energy in the Energy Balance of a Solar Flare, *Physical Review Letters*, v. 118, id. 155101, 2017. Impact factor: 8.385. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.118.155101>
10. Y.T. Metodieva, A.A. Kuznetsov, A.E. Antonova, J.G. Doyle, G. Ramsay, K. Wu, Modelling the environment around five ultracool dwarfs via the radio domain, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 465, p. 1995, 2017. Impact factor: 5.356. <https://doi.org/10.1093/mnras/stw2597>
11. I.N. Sharykin, A.A. Kuznetsov, Modelling of Nonthermal Microwave Emission from Twisted Magnetic Loops, *Solar Physics*, v. 291, p. 1341, 2016. Impact factor: 2.503. <https://doi.org/10.1007/s11207-016-0917-y>
12. A.A. Kuznetsov, R. Keppens, C. Xia, Synthetic Radio Views of Simulated Solar Flux Ropes, *Solar Physics*, v. 291, p. 823, 2016. Impact factor: 2.503. <https://doi.org/10.1007/s11207-016-0865-6>

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

1. 2018-2019: грант Российского Фонда Фундаментальных Исследований № 17-52-10001 «Нестационарные свойства квазипериодических пульсаций как основа диагностики механизмов вспышечного энерговыделения», исполнитель.
2. 2017-2020: грант Российского Фонда Фундаментальных Исследований № 17-52-80064 «Супервспышки на звездах и Солнце», руководитель.
3. 2015-2017: грант Российского Фонда Фундаментальных Исследований № 15-02-03717 «Исследование процессов ускорения частиц в солнечных вспышках на основе уникальных наблюдений гамма-спектрометра Конус-Винд и Сибирского Солнечного Радиотелескопа», руководитель.
4. 2016: грант Российского Фонда Фундаментальных Исследований № 16-32-50172 «Моделирование микроволнового излучения нетепловых электронов из скрученных магнитных петель в солнечных вспышках», руководитель.

1. 2018-2019: grant of the Russian Foundation for Basic Research 17-52-10001 "Time-dependent properties of quasi-periodic pulsations as indicators of flaring energy release processes", co-investigator.
2. 2017-2020: grant of the Russian Foundation for Basic Research 17-52-80064 "Superflares on stars and the Sun", principal investigator.
3. 2015-2017: grant of the Russian Foundation for Basic Research 15-02-03717 "Study of the particle acceleration processes in solar flares using the unique observations of Konus-Wind gamma-spectrometer and Siberian Solar Radio Telescope", principal investigator.
4. 2016: grant of the Russian Foundation for Basic Research 16-32-50172 "Simulation of microwave emission of nonthermal electrons from twisted magnetic loops in solar flares", principal investigator.

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

Общее количество – 1, из них:

руководство – 1, участие в качестве исполнителя – 0,

а именно:

Государственное задание: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук, выполнение фундаментальных научных исследований по теме «Исследование процессов хромосферной и корональной активности Солнца», руководитель.

(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)

2018-2020: разработка и чтение курса "Физика плазмы" для аспирантов, Институт Солнечно-Земной Физики (Иркутск, Россия).

2019-2020: разработка и чтение курса «Солнечно-земная физика» для студентов, Иркутский Государственный Университет (Иркутск, Россия).

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)

+79149377045, a_kuzn@iszf.irk.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	Кузнецов Алексей Алексеевич
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	664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 267/1, кв. 6
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 _____/А.А. Кузнецов/

Дата подписания «___» _____ 2020 г.

Форма 2. Сведения об основном исполнителе проекта

2.1. Фамилия, имя, отчество (при наличии)

на русском языке

Куприянова Елена Геннадьевна

на английском языке фамилия и инициалы

Kupriyanova E.

WoS ResearcherID (при наличии)

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

<https://publons.com/researcher/E-4353-2012/>

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=8872194400>

ORCID (при наличии)

Можно получить, зарегистрировавшись по адресу orcid.org.

<https://orcid.org/0000-0001-9664-0552>

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

16.01.1975

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, 2007

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

Третья премия им. В.Я. Струве для молодых специалистов ГАО РАН за лучшую научно-исследовательскую работу (2010)

Персональная стипендия BELSPO в Католическом университете г. Левен, Бельгия (2015-2016)

Приглашённый исследователь в Институте исследований солнечно-земной среды, Университета г. Нагоя, Япония (2017)

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

старший научный сотрудник, федеральное государственное бюджетное учреждение науки Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория Российской академии наук (ГАО РАН, г Санкт-Петербург)

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

на русском языке

Короны Солнца и звёзд, вспышки, механизмы радиоизлучения, квазипериодические пульсации, многоволновые наблюдения

на английском языке

Solar and stellar coronae, flares, mechanisms of radio emission, quasi-periodic pulsations, multi-wavelength observations

2.8. Область научных интересов – коды по классификатору Фонда

02-703 02-704

2.9. Общее число публикаций за период с 1 января 2016 года, 11, 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 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. L. K. Kashapova, E. G. Kupriyanova, Z. Xu, H. A. S. Reid, D. Y. Kolotkov «The origin of quasi-periodicities during circular ribbon flares», 2020, *A&A*, 642, A195, DOI: 10.1051/0004-6361/201833947, impact-factor: 6.209, Q1
2. Kupriyanova, Elena; Kolotkov, Dmitrii; Nakariakov, Valery; Kaufman, Anastasiia "Quasi-Periodic Pulsations in Solar and Stellar Flares. Review", 2020, *Solar-Terrestrial Physics*, vol. 6, issue 1, pp. 3-23, DOI: 10.12737/stp-61202001, <https://naukaru.ru/en/nauka/article/36812/view>, Q4
3. V. M. Nakariakov, D. Y. Kolotkov, E. G. Kupriyanova, T. Mehta, C. E. Pugh, D.-H. Lee and A.-M. Broomhall «Non-stationary quasi-periodic pulsations in solar and stellar flares», 2019, *Plasma Phys. Cont. Fusion*, 61, 1, id 014024. DOI: 10.1088/1361-6587/aad97c; impact-factor: 2.799, Q2
4. Elena G. Kupriyanova, Larisa K. Kashapova, Tom Van Doorselaere, Partha Chowdhury, Abhishek K. Srivastava, and Yong-Jae Moon "Quasi-periodic pulsations in a solar flare with an unusual phase shift" 2019, *MNRAS*, 483, 5499, DOI: 10.1093/mnras/sty3480, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6587/aad97c>; impact-factor: 5.194, Q1
5. Nakariakov V. M., Kolotkov D. Y., Kupriyanova E. G., Mehta T., Pugh C. E., Lee D.-H., Broomhall A.-M., Non-stationary quasi-periodic pulsations in solar and stellar flares, *Plasma Physics and Controlled Fusion*, 2018; DOI: 10.1088/1361-6587/aad97c, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6587/aad97c>; impact-factor: 3.032, Q2.
6. E. Kupriyanova, H. Ratcliffe «Minute pulsations in microwaves and X-rays during the flare on May 6, 2005», 2016, *Advances in Space Research*, 57, pp. 1456-1467, DOI: 10.1016/j.asr.2016.01.012, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0273117716000351?via%3Dihub>; impact-factor: 1.529, Q3
7. E.G. Kupriyanova, L.K. Kashapova, H.A.S. Reid, I.N. Myagkova "Relationship of type III radio bursts with quasi-periodic pulsations in a solar flare", 2016, *Solar Physics*, 291, 3427-3438, DOI: 10.1007/s11207-016-0958-2; <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11207-016-0958-2>; impact-factor: 2.580, Q2
8. T. Van Doorselaere, E.G. Kupriyanova, D. Yuan "Quasi-periodic pulsations in solar and stellar flares: an overview of recent results", 2016, *Solar Physics*, 291, 3143-3164, DOI: 10.1007/s11207-016-0977-z; <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11207-016-0977-z>; impact-factor: 2.580, Q2

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

1. РФФИ № 17-52-1000 Ко-а "Нестационарные свойства квазипериодических пульсаций как основа диагностики механизмов вспышечного энерговыделения" (2018-июнь 2020) (руководитель)
2. РФФИ № 18-02-00856 а "Магнитные плазменные жгуты и их роль во вспышечном энерговыделении, ускорении частиц и формировании СМЕ" (2018-декабрь 2020) (исполнитель)
3. РФФИ № 17-52-80064 БРИКС_а "Супервспышки на звездах и Солнце" (2017-октябрь 2020) (исполнитель)
4. РФФИ № 15-02-08028 а "Динамика ускоренных частиц и вспышечное излучение Солнца и звёзд" (2015-2017) (исполнитель)
5. РФФИ № 14-02-00924 а "Радио и рентгеновская диагностика ускоренных электронов в солнечных вспышка" (2014-2016) (исполнитель)
6. РФФИ № 13-02-00044 а "Исследование процессов переноса энергии МГД волнами в атмосфере Солнца" (2013-2015) (исполнитель)

на английском языке

1. RFBR № 17-52-1000 RoS "Time-dependent properties of quasi-periodic pulsations as indicators of flaring energy release

processes" (2018-June 2020) (leader)

2. RFBR № 18-02-00856 a "Magnetic flux ropes and their role in flare energy release, particle acceleration, and CME formation" (2018-December 2020) (implementer)

3. RFBR № 17-52-80064 BRICS-a "Superflares on stars and the Sun" (2017-October 2020) (implementer)

4. RFBR № 15-02-08028 a "Dynamics of accelerated particles and flare emission of the Sun and stars" (2015-2017) (implementer)

5. RFBR № 14-02-00924 a "Radio and X-ray diagnostics of accelerated electrons in solar flares" (2014-2016) (implementer)

6. RFBR № 13-02-00044 a "Research of MHD waves energy transfer in solar atmosphere" (2013-2015) (implementer)

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

Общее количество – 3, из них:

руководство – 1, участие в качестве исполнителя – 3,

а именно:

1. Государственное задание учредителя, ГАО РАН (действующее) - исполнитель.

2. Проект фундаментальных научных исследований, проводимый совместно РФФИ и Японским обществом продвижения науки (подана заявка) - руководитель.

3. Проект РНФ (заявка подана) - основной исполнитель

(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 -

25 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)

Проведение образовательных экскурсий по астрономии для школьников и взрослых в ГАО РАН. Чтение публичных лекций по астрономии в ГАО РАН (Санкт-Петербург), в библиотеке Молчанова-Сибирского (Иркутск).

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)

+79633296330, elenku@bk.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	Куприянова Елена Геннадьевна
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	196158, г. Санкт-Петербург, Московское шоссе, д. 22, кв. 18
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 _____/Е.Г. Куприянова/

Дата подписания «___» _____ 2020 г.

Форма 2. Сведения об основном исполнителе проекта

2.1. Фамилия, имя, отчество (при наличии)

на русском языке

Сыч Роберт Андреевич

на английском языке фамилия и инициалы

Sych R.

WoS ResearcherID (при наличии)

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

<https://publons.com/researcher/D-1499-2013/>

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=6602531382>

ORCID (при наличии)

Можно получить, зарегистрировавшись по адресу orcid.org.

<https://orcid.org/0000-0003-4693-0660>

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

06.07.1962

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, 1998

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

Представитель России в SCOSTEP по научному направлению Солнечная Физика;

Представитель международного комитета по награждению премиями SCOSTEP

Представитель общества JOSO, отделение солнечной физики, 2003;

Представитель общества КОСПАР;

Представитель международного научного совета по проекту Бразильского дециметрового радиотелескопа.

Гранты Президента Китайской Академии Наук (КАС), No. 2015VMA014, 2020VMA0032

Гранты научных визитов в Китай, No. 2010T2J24, 2011, 2012, 2013, 2020, Пекин; Кунмин, Нанкин

Руководитель Российской стороны в проекте Европейского Союза по научному обмену между институтами и научными учреждениями (IRSES), FP7-PEOPLE-2011-IRSES, 2012-2016;

Грант научных визитов в Чехию, 2008;

Грант научных визитов в Уорик Университет, Англия, 2006;

PPARC грант, 2007

Грант научных визитов в Бразилию, Институт космических исследований,

Сан Жозе дос Кампос, FAPESP 2003-2005.

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

ведущий научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Трудового

Красного Знамени Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЗФ СО РАН, Иркутская обл)

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

на русском языке

солнечная физика, колебания в пятнах, МГД волны, корональные волны, спайки, микроволновое излучение, солнечные вспышки

на английском языке

solar physics, sunspot oscillation, MHD wave, coronal wave, spike, microwave emission, solar flares

2.8. Область научных интересов – коды по классификатору Фонда

02-402 02-503 02-703

2.9. Общее число публикаций за период с 1 января 2016 года, 13, из них:

13 - 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 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. The dynamics of 3-minute wavefronts and their relation to sunspot magnetic fields, Robert Sych, David B. Jess and Jiangtao Su, Philosophical Transactions of the Royal Society A, Vol. 379: 20200180, 2020, <https://arxiv.org/abs/2007.09369>, Impact factor: 3.275
2. Properties of Local Oscillations in the Lower Sunspot Atmosphere, Sych, R., Zhugzhda, Y., Yan, X., The Astrophysical Journal, Volume 888, Issue 2, article id. 84, 11 pp. (2020) <https://dx.doi.org/10.3847/1538-4357/ab5a78>, Impact factor: 5.745
3. Radio, EUV, and X-Ray Observations during a Filament Rise in the 2011 June 7 Solar Flare, Karlický, M., Kašparová, J., Sych, R. The Astrophysical Journal, Volume 888, Issue 1, article id. 18, 9 pp. (2020) <https://dx.doi.org/10.3847/1538-4357/ab5a78>, Impact factor: 5.745
4. Powerful Umbral Flashes and Local Oscillations in Sunspots Zhugzhda, Y.D., Sych, R.A., Astronomy Letters, Volume 45, Issue 3, pp.177-185, 2019, <https://dx.doi.org/10.1134/S1063773719030071>, Impact factor: 1.489
5. Fine wave dynamics in umbral flash sources Sych, R., Wang, M., Astronomy & Astrophysics, Volume 618, id.A123, 9 pp.6, 2019, <https://dx.doi.org/10.1051/0004-6361/201732139>, Impact factor: 5.636
6. Local sunspot oscillations and umbral dots Zhugzhda, Y., Sych, R., Research in Astronomy and Astrophysics, Volume 18, Issue 9, article id. 105 (2018). <https://dx.doi.org/10.1088/1674-4527/18/9/105>, Impact factor: 1.512
7. A Model of Zebra Patterns in Solar Radio Emission Chernov, G.P., Fomichev, V.V., Sych, R.A. 2018 Geomagnetism and Aeronomy 58 (3), pp.394. <https://dx.doi.org/10.1134/S0016793218030040>, Impact factor: 0.461
8. Siberian Radioheliograph: first results, Lesovoi, Sergey; Altyntsev, Alexander; Kochanov, Aleksey; Grechnev, Victor; Gubin, Aleksey; Zhdanov, Dmitriy; Ivanov, Evgeniy; Uralov, Arkadiy; Kashapova, Larisa; Kuznetsov, Aleksey; Meshalkina, Nataliya; Sych, Robert, Solar-Terrestrial Physics, vol. 3, issue 1, pp. 3-18, 2017, https://dx.doi.org/10.12737/article_58f96ec60fec52.86165286, Impact factor: 1.503
9. Comparison of alternative zebra-structure models in solar radio emission, Chernov, G. P.; Fomichev, V. V.; Sych, R. A., eprint arXiv:1704.02528, XII Solar System Plasma Conference, February 6, 2017, Space Research Institute of RAS, Moscow, Russia, 2017
10. Preface to Topical Issue: Waves in the Solar Corona: From Microphysics to Macrophysics Nakariakov, V.M., Pascoe, D.J., Sych, R., van Driel-Gesztelyi, L. 2016 Solar Physics 291 (11), pp.3139, <https://dx.doi.org/10.1007/s11207-016-1020-0> Impact factor: 2.503
11. Spatial variation of wave periods of magnetoacoustic-gravity waves in the flux-tube Chmielewski, P., Murawski, K., Sych, R. 2016 Acta Physica Polonica B 47 (10), pp.2273 <https://dx.doi.org/10.5506/APhysPolB.47.2273>, Impact factor: 0.49
12. MHD Wave in Sunspots, Sych, R. 2016 Low-Frequency Waves in Space Plasmas, pp.467 <https://dx.doi.org/10.1002/9781119055006.ch27>
13. Flare evolution and polarization changes in fine structures of solar radio emission in the 2013 April 11 event Chernov, G., Sych, R., Tan, B.-L., Yan, Y.-H., Tan, C.-M., Fu, Q.-J., Karlický, M., Fomichev, V. 2016 Research in Astronomy and Astrophysics 16 <https://dx.doi.org/10.1088/1674-4527/16/2/028>, Impact factor: 1.512

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

1. Грант РФФИ N 17-52-80064 БРИКС_а "Супервспышки на звездах и Солнце", 2017-2020
2. Гранты Президента Китайской Академии Наук (КАС), No. 2010T2J24, 2015VMA014, 2020VMA0032
3. Грант РФФИ N 14-02-91157 GFEN_а "Многоволновая диагностика динамических процессов на Солнце с использованием новых радиоастрономических инструментов", 2014-2015
4. Грант РФФИ N 13-02-90472 Укр_ф_а "Накопление, выделение и перенос энергии в солнечных вспышках", 2013-2014
5. Грант РФФИ N 13-02-10009 К "Организация и проведение комплексной экспедиции для сбора данных по солнечной активности", 2013
6. SEVENTH FRAMEWORK PROGRAMME, Marie Curie Actions People, International Research Staff Exchange Scheme, RADIOSUN Project, PIRSES-GA-2011, Radiophysics of the Sun: Network of Excellence, Leader of Russian Team, 2012-2015
7. Грант РФФИ N 13-02-00044-а "Исследование процессов переноса энергии МГД волнами в атмосфере Солнца", 2013-2015

на английском языке

1. Grant RFBR No. 17-52-80064 BRICS_a "Superflares on the Stars and the Sun", 2017-2020
2. CAS President's International Fellowship Initiative (PIFI), Grant No. 2010T2J24, 2015VMA014, 2020VMA0032
3. Grant RFBR N 14-02-91157 GFEN_a "Multiwave diagnostics of dynamic processes on the Sun using new radio astronomical instruments", 2014-2015
4. Grant RFBR N 13-02-90472 Ukr_f_a "Accumulation, release and transfer of energy in solar flares", 2013-2014
5. Grant RFBR N 13-02-10009 K "Organization and implementation of a complex expedition to collect data on solar activity", 2013
6. SEVENTH FRAMEWORK PROGRAM, Marie Curie Actions People, International Research Staff Exchange Scheme, RADIOSUN Project, PIRSES-GA-2011, Radiophysics of the Sun: Network of Excellence, Leader of the Russian Team, 2012-2015
7. Grant RFBR N 13-02-00044-а "Investigation of the processes of energy transfer by MHD waves in the solar atmosphere", 2013-2015

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

Общее количество – 1, из них:

руководство – 1, участие в качестве исполнителя – 0,

а именно:

Грант Президента Китайской Академии Наук (КАС), No. 2020VMA0032

(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 аспирантом Галиченко С.А. в 2013 г

Руководитель аспиранта Анфиногентова С.А. с успешной защитой кандидатской диссертации в 2012 г

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)

+79148873315, sych@iszf.irk.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	Сыч Роберт Андреевич
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	Россия, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 277/8 кв. 36
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 _____/Р.А. Сыч/

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 учреждение науки Ордена Трудового Красного Знамени Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук

3.2. Сокращенное наименование

ИСЗФ СО РАН

3.3. Наименование на английском языке

Institute of Solar-Terrestrial Physics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences

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

Министерство науки и высшего образования РФ

3.7. ИНН, КПП, ОГРН, ОКТМО

3812010456, 381201001, 1033801748925, 25701000

3.8. Адрес

664033, Иркутская область, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д.126А

3.9. Фактический адрес

664033, Иркутская область, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д.126А

3.10. Субъект Российской Федерации

Иркутская обл

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

директор, Медведев Андрей Всеволодович

3.12. Контактный телефон

3952428265

3.13. Электронный адрес *(E-mail)*

uzel@iszf.irk.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;
- о 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 решение одной из фундаментальных проблем физики Солнца, а именно проблемы понимания физических механизмов инициации и развития солнечных вспышек. Сюда относятся процессы накопления магнитной энергии и ее импульсного выделения во время развития вспышки, процессы ускорения частиц, нагрева вспышечной плазмы. Огромное значение в этих процессах имеет структурирование и филаментация корональной плазмы, приводящие, в частности, к образованию корональных петель и других структур, играющих роль волноводов для магнитогидродинамических (МГД) волн. Последние, наряду с ускоренными частицами и эволюцией магнитного поля, являются одним из основных агентов переноса энергии в солнечной атмосфере. МГД волны пронизывают всю солнечную атмосферу, вмешиваясь даже в такие мощные процессы, как солнечные вспышки. Эти волны могут как быть триггером процессов вспышечного энерговыделения и ускорения частиц, так и эффективно модулировать эти процессы. Свойства МГД волн зависят от параметров среды, где они распространяются, и тем самым дают нам эффективный инструмент диагностики плазмы, называемый МГД-сейсмологией. Благодаря этому инструменту, у нас есть возможность получать количественную информацию о тех параметрах корональной плазмы, которые сложно или невозможно измерить другими способами, например, параметры скрученности магнитоплазменных петель.

на английском языке

The project is aimed at solving one of the fundamental problems of solar physics: understanding the physical mechanisms responsible for the occurrence and dynamics of solar flares. This involves both the processes of magnetic energy accumulation and its explosive release during flares, processes of particle acceleration and plasma heating. These processes are strongly affected by structuring and filamentation of the coronal plasma, which results, in particular, in the formation of coronal loops and other structures that can act as waveguides for magnetohydrodynamic (MHD) waves. These waves, together with the accelerated particles and evolution of the magnetic field, are among the main agents transferring the energy through the solar atmosphere. MHD waves penetrate the entire solar atmosphere, affecting even the most powerful processes such as solar flares. MHD waves can both be triggers of flaring energy release and particle acceleration processes, and modulate these processes effectively. Properties of MHD waves depend on parameters of the medium where they propagate, which provides us with an effective plasma diagnosing tool - the method of MHD seismology. This tool allows us to study quantitatively parameters of the coronal plasma that are hard or impossible to be measured using other methods, for example, the twisting parameters of the coronal loops.

4.2. Научная значимость и актуальность решения обозначенной проблемы

на русском языке

Во время солнечных вспышек происходят наиболее интересные и сложные физические плазменные процессы, такие как неустойчивости магнитоплазменных структур, магнитное пересоединение, взрывной нагрев плазмы и ускорение заряженных частиц до релятивистских энергий. Эти процессы тесно связаны с потенциально опасными геоэффективными событиями, такими как корональные выбросы массы (КВМ) и солнечные космические лучи (СКЛ). Солнечные вспышки активно исследуются мировым научным сообществом в течение десятилетий. Однако исчерпывающее понимание происходящих процессов пока не достигнуто. Это не дает возможности создания надежных моделей энерговыделения в самых мощных вспышках, что принципиально важно для налаживания достоверного прогноза явлений космической погоды. Поскольку физически обоснованные методы прогнозирования космической погоды требуют детальной информации о характеристиках вспышечных областей на Солнце, разработка и развитие новых методов получения такой информации является важной и актуальной задачей, на что и нацелен наш проект. Информация, полученная в ходе выполнения данного проекта, может быть также востребована для исследования магнитосфер планет и атмосфер других звезд.

на английском языке

Solar flares are associated with the most interesting and complex physical processes, such as the instabilities of the magnetic field and plasma structures, magnetic reconnection, explosive plasma heating, and acceleration of charged particles up to relativistic energies. These processes are closely related to the potentially dangerous geoeffective events, such as the coronal mass ejections (CMEs) and solar energetic particles (SEPs). Solar flares have been intensively studied by the international scientific community for decades; however, a comprehensive understanding of flaring processes has not been achieved yet. As a result, we cannot yet develop reliable models of energy release in the most powerful flares, which is

highly significant for a reliable forecasting the space weather events. Since physically justified methods of forecasting the space weather require a detailed information about solar flaring regions, development of new diagnosing methods for obtaining this information becomes an important and timely problem; this is the main aim of the proposed project. The results of this project can also be relevant for studying the planetary magnetospheres and the atmospheres of other stars.

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

на русском языке

Мы планируем достичь целей проекта посредством решения следующих конкретных задач:

1) Разработка и применение новых сейсмологических методов для оценки магнитной скрученности (твиста). Решение этой задачи будет основано на изучении сосисочных колебаний (колебаний типа перетяжек) во вспышечной петле. На свойства сосисочных колебаний влияет скрученность магнитной трубки, а также радиальная и тороидальная структура колеблющейся петли. Свойства сосисочных колебаний будут определены по данным наблюдений и сопоставлены с результатами аналитических и численных теоретических расчетов, позволяющих оценить свойства магнитной скрученности и связанной с ней магнитной энергии.

2) Создание и применение новых сейсмологических методов для исследования поперечных профилей плотности и температуры плазмы в корональной петле, по медленным магнитозвуковым стоячим и плещущимся (sloshing) колебаниям данных петель. С этой целью будут определены наблюдаемые характеристики колебаний и их зависимости друг относительно друга, а также относительно других наблюдаемых параметров колеблющейся петли. Полученные из наблюдений результаты будут сравниваться с результатами упрощенной 2D аналитической теории и численных расчетов в рамках полной системы МГД уравнений и моделирования откликов конкретных наблюдательных инструментов.

3) Проведение исследований, направленных на понимание физических процессов, ответственных за развитие вспышки вдоль нейтральной линии магнитного поля, и их связи со скоростью выделения энергии в самых мощных двухленточных вспышках. В рамках решения этой задачи, по данным наблюдений, будет изучен процесс распространения вспышечного энерговыделения, в том числе, связь скорости развития процесса с наблюдаемыми параметрами вспышечной аркады и характеристиками квазипериодического и/или иррегулярного выделения энергии. Будут развиты теоретические модели этого процесса, основанные на магнитном пересоединении, индуцированном медленными магнитозвуковыми волнами, направляемыми вспышечной аркадой, а также хлопающими (flapping) колебаниями макроскопического токового слоя над аркадой.

на английском языке

We are going to achieve the project objectives by solving the following specific problems:

1) Developing and applying novel seismological methods for estimating the magnetic twist. The approach to this problem will be based on studying sausage-mode oscillations of flaring loops. Characteristics of sausage oscillations are affected by the magnetic twist, as well as by the radial and toroidal structure of the oscillating loop. Characteristics of sausage oscillations will be determined from observations, and then compared with results of analytical and numerical modeling, which will allow us to estimate the magnetic twist parameters and the associated free magnetic energy.

2) Developing and applying novel seismological methods for probing transverse profiles of the plasma density and temperature in coronal loops using slow magnetoacoustic and sloshing oscillations of these loops. For this purpose, we will determine properties of the oscillations, and their scaling with each other and with other observed parameters of the oscillating loops, observationally. The obtained observational results will be compared with a simplified 2D analytical model and with results of numerical simulations involving a full set of MHD equations and forward-modeling responses of different instruments.

3) Studying physical processes responsible for the progression of a flare along the magnetic neutral line, and their relation to the energy release rate in the most powerful two-ribbon flares. To solve this problem, we will analyze relevant observations and study the progression of the flaring energy release, including relations of this process with observed characteristics of the flaring arcade and the quasi-periodic and/or irregular energy release time patterns. We will develop theoretical models of

this process based on magnetic reconnection triggered by slow magnetoacoustic waves guided by the flaring arcade, as well as on flapping oscillations of the macroscopic current sheet above the arcade.

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

на русском языке

В рамках проекта мы разработаем и применим новую методику сейсмологической диагностики солнечной короны на основе анализа МГД колебаний сосисочной и продольной мод корональных петель. Будут разработаны новые аналитические и численные модели для решения поставленных задач (п. 4.3). Результаты моделирования колебаний корональных магнитных структур в активных областях будут сравниваться с современными наблюдательными данными в различных диапазонах электромагнитного спектра с помощью метода "Моделирования Инструментальных откликов" (МИО, Forward Modeling), который подразумевает расчет отклика различных наблюдательных инструментов на излучение модельного источника. Использование результатов моделирования для интерпретации наблюдательных данных позволит нам получить новую информацию о поперечной структуре корональных петель, включая оценку величины скрученности магнитного поля, важной для оценки свободной магнитной энергии, и профиля температуры, необходимого для понимания механизмов филаментации плазмы, определяющей процессы энерговыделения и их скорость (мощность).

Исследования нестационарных процессов в двухленточных солнечных вспышках позволят получить новые данные о скорости и механизмах распространения вспышечного энерговыделения в пространстве (по высоте, вдоль и поперек нейтральной линии магнитного поля). Данная информация имеет решающее значение для понимания скорости энерговыделения, а значит и его мощности, а также таких наблюдательных проявлений вспышек, как квазипериодические пульсации вспышечного излучения.

Наряду с построением новых физических моделей предполагается разрабатывать и совершенствовать новые методы анализа нестационарных, нелинейных и многомодовых сигналов, регистрируемых различными многоволновыми инструментами. Для решения поставленных задач будут использоваться новые данные многочастотного Сибирского Радиогелиографа (СРГ), архивные данные радиогелиографа Нобеяма и космической рентгеновской обсерватории RHESSI, а также современные данные космических аппаратов SDO/AIA, Konus/WIND, наблюдающих в ультрафиолетовом и рентгеновском диапазонах, соответственно.

Предполагаемые результаты решения задач проекта имеют непосредственное отношение к разработке методик прогнозирования активных явлений на Солнце, что даст возможность существенно улучшить прогнозирование космической погоды. Стоит отметить, что современные модели прогноза мало используют опыт сейсмологии солнечной короны и вспышек. Мы надеемся, что в рамках проекта удастся найти новые прогностические критерии активных явлений на Солнце.

Возможность решения поставленных задач проекта обеспечивается имеющимся научным заделом у участников проекта. В частности, участники имеют обширный опыт анализа данных наблюдений в самых различных диапазонах электромагнитного спектра, разработке аналитических моделей физических процессов на Солнце, а также прямой доступ к различным уникальным наблюдательным данным (например, СРГ). Кроме этого, каждый отдельный участник проекта обладает своим уникальным опытом, полезным для проекта и дополняющим опыт других участников. Таким образом, научная квалификация участников научного коллектива позволит решить поставленные в проекте задачи в указанные сроки.

на английском языке

As part of the project, we will develop and apply a new method for seismological diagnostics of the solar corona based on the analysis of sausage and slow MHD oscillations of coronal loops. New analytical and numerical models will be developed to solve the set tasks (Sect. 4.3). The results of modeling the oscillations of coronal magnetic structures in active regions will be compared with modern observational data in various bands of the electromagnetic spectrum using the method of "Modeling Instrumental Output" (MIO, Forward Modeling), which involves calculating the response of various observational instruments to the emission of a model source. Using the simulation results to interpret observational data will allow us to obtain new information about the transverse structure of coronal loops, including estimate of the magnetic field twist. This is important for estimating free magnetic energy together with obtaining temperature profile, and necessary to understand the

mechanisms of plasma filamentation, which determine the energy release processes and their speed (power).

The investigation of non-stationary processes in two-ribbon solar flares will provide new data on the speed and mechanisms responsible for the propagation of the flare energy release in space (along the height, along and across the neutral magnetic field line). This information is crucial for understanding the rate of the energy release, and hence its power, as well as such observational manifestations of flares as quasi-periodic pulsations of their emission.

It is planned, together with preparation of the new physical models, to develop and improve new methods for analyzing non-stationary, nonlinear and multimode signals recorded by various multi-wave instruments. New data from the multi-frequency Siberian Radioheliograph (SRH), archived data from Nobeyama radioheliograph and RHESSI, as well as data from SDO/AIA and Konus/WIND will be used to reach these goals.

The expected results of solving the project tasks are directly related to development of methods for predicting active phenomena on the Sun, which will could significantly improve space weather forecasting. It is worth noting that modern forecast models make little use of the experience in seismology of the solar corona and solar flares. We hope that the project will be able to find new predictive criteria for active solar phenomena.

The possibility of solving the project tasks is provided by the existing scientific background of the project participants. In particular, participants have extensive experience in analyzing observational data obtained in different bands of the electromagnetic spectrum, developing analytical models of physical processes on the Sun, and direct access to various unique observation data (e.g., SRH). In addition, each individual project participant has a unique experience that is useful to the project and complements the experience of other participants. Thus, the scientific qualification of the scientific team will make it possible to solve the project tasks in due time.

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

на русском языке

Изучение магнитогидродинамических (МГД) волновых процессов является одним из наиболее быстро развивающихся разделов физики солнечной короны. За последнее десятилетие произошел существенный рост чувствительности и разрешающей способности как изображающих, так и спектроскопических наблюдательных инструментов. Это позволило уверенно регистрировать МГД-волны в различных магнитоплазменных структурах солнечной атмосферы, и показало, что эти волны являются повсеместным явлением в атмосфере Солнца. Теоретическое моделирование МГД-волн в корональных плазменных структурах обычно основано на модели Зайцева-Степанова-Эдвина-Робертса (ZSER), в рамках которой, неоднородность плазмы, играющая роль волновода, рассматриваются как плазменный цилиндр, пронизанный и окруженный магнитным полем (например, Nakariakov & Kolotkov 2020; см. эту и др. ссылки в списке литературы в прикрепленном файле). Модель ZSER предсказывает существование трех основных МГД-мод плазменного цилиндра: изгибной, продольной и сосисочной мод, а также континуума крутильных альфвеновских волн. Традиционный интерес к МГД-волнам связан с их возможным участием в процессе нагрева корональной плазмы в качестве агента, переносящего энергию в корону из нижних слоев атмосферы и выделяющего ее на определенной высоте. Однако, степень участия волн в нагреве короны все еще обсуждается (например, Karampelas et al. 2019). Другим интенсивно развивающимся направлением исследований является МГД-сейсмология, суть которой состоит в использовании МГД-волн для диагностики параметров плазмы и исследования конкретных физических механизмов, работающих там. Было продемонстрировано, что МГД-волны несут ценную и часто уникальную информацию о магнитном поле в корональной плазме активных областей, ее термодинамических свойствах, тонкой структуризации и транспортных коэффициентах. Сейсмологическая диагностика становится особенно важной для короны, где сочетание высокой температуры и низкой концентрации плазмы делает традиционные методы астрофизической диагностики неэффективными. МГД-сейсмология была определена среди ключевых методов в глобальной дорожной карте космической погоды на 2015–2025 гг., подготовленной по заказу COSPAR и Международной группы «Жизнь со звездой» (Schrijver et al. 2015).

Подавляющее большинство недавних работ в области МГД-сейсмологии направлено на исследование изгибных волн в корональных петлях. Волны этого типа несут информацию об абсолютном значении магнитного поля и поперечном профиле плотности в колеблющейся петле. Однако волны других типов, в частности, медленные магнитозвуковые ("продольные") колебания и сосисочные колебания, также имеют высокий, хотя и мало использованный сейсмологический потенциал, особенно важный при диагностике условий в активных областях во время солнечных

вспышек, ведь именно тогда волны этих типов наблюдаются чаще всего. Медленные колебания с типичными периодами в несколько минут и более, хорошо разрешаются в корональных структурах активных областей, наблюдаемых в крайнем ультрафиолетовом (КУФ), рентгеновском и микроволновом диапазонах, что было продемонстрировано в ряде тематических исследований (например, Wang et al. 2018, Kupriyanova et al. 2019). Интересно, что колебания этого типа успешно детектируются как в наблюдениях с пространственным разрешением (изображениях), так и в спектральных данных (например, Li et al. 2017). Статистические исследования медленных колебаний демонстрируют характерную линейную зависимость времени затухания от периода колебаний и зависимость затухания от амплитуды (Wang 2011, Nakariakov et al. 2019). Возникновение преимущественно медленных колебаний в горячей плазме (> 5 МК) также является загадкой, так же, как и их возникновение в стоячей и отражающейся или «плещущейся (sloshing)» формах (например, Kumar et al. 2013). Физические процессы в медленном колебании напрямую связаны с поперечным структурированием плотности и температуры в колеблющейся структуре. Эта информация имеет решающее значение для понимания филаментации, ориентированной вдоль магнитного поля, которая присуща корональной плазме. Однако, теоретическое моделирование медленных колебаний обычно выполнялось в рамках одномерной акустики, то есть в модели ZSER в пределе бесконечного поля или в приближении тонкой трубки (например, Nakariakov et al. 2017). При таком подходе влияние конкретных поперечных профилей плотности и температуры плазмы игнорируется.

Обнаружение сосисочных колебаний является более сложной задачей, так как их характерные периоды существенно меньше одной минуты, в то время как скважность наблюдений в крайнем ультрафиолетовом (КУФ) диапазоне, выполняемых космическими обсерваториями, в большинстве случаев составляет около 12 секунд и более. Поэтому сосисочные колебания обычно детектируют в сериях изображений, полученных в микроволновом, радио и жестком рентгеновских диапазонах (Van Doorselaere et al. 2016), но речь все еще идет об обнаружении таких колебаний в отдельных событиях. В частности, в широкополосном микроволновом излучении были обнаружены сосисочные колебания с периодами 0,7 и 2 с (Mészárosová et al. 2016). По данным РАТАН-600 в диапазоне 3–4 ГГц были обнаружены первая и вторая гармоники сосисочной моды с периодом 1.4 с в канале интенсивности и 0.7 с в канале поляризации в солнечной микровспышке (Nakariakov et al, 2018). Сосисочные колебания также проявляются в виде модуляции солнечных радиовсплесков с зebra-структурой (Yu et al. 2016; Kaneda et al. 2018). Глобальная сосисочная мода была обнаружена как 25-секундные колебания интенсивности и доплеровского смещения горячей корональной линии (Tian et al. 2016). Недавнее теоретическое моделирование сосисочных колебаний демонстрирует их потенциал для оценки поперечной структуры плазмы в колеблющейся корональной петле (Chen et al. 2016). Более того, сосисочные колебания могут быть использованы для диагностики скрученности магнитного поля в расширяющихся петлях, в том числе и в динамике. Скрученность магнитного поля напрямую связана со свободной магнитной энергией, доступной для выделения во вспышке, и, следовательно, дает нам верхний предел энергии вспышки. Эффекты, связанные со скрученностью, моделировались в предположении кусочно-радиальной неоднородности (например, Vembitov et al. 2014). А влияние кривизны колеблющихся петель, обычно рассматривается в рамках двумерного моделирования (например, Pascoe & Nakariakov 2016). Совокупное же действие искривления и закрученности еще не было изучено. Каких-либо статистических исследований сосисочных колебаний не проводилось вплоть до настоящего времени.

Другой важной темой, получившей развитие в последних публикациях, связанных с тематикой проекта, является исследование роли волновых процессов в развитии процесса выделения энергии во время вспышек. Солнечная вспышка — это принципиально трехмерный физический процесс и выделение энергии развивается не только в плоскости «стандартной модели вспышки» (с X-точкой пересоединения, выбрасываемым плазмой и вспышечной петлей), но и в перпендикулярном направлении, что наиболее заметно в случае мощных двухленточных вспышек. Такая эволюция проявляется последовательным «зажиганием» магнитоплазменных петель вспышечной аркады и развитием источников жесткого рентгеновского (ЖР) излучения вдоль нейтральной линии (НЛ). Понимание механизмов развития вспышки вдоль НЛ имеет решающее значение для оценки скорости выделения энергии вспышки и, следовательно, ее мощности. Характерные наблюдаемые скорости составляют от единиц до сотен км/с (например, Vogachev et al. 2005, Grigis & Benz 2005, Kuznetsov et al., 2016; Qiu et al., 2017), что ниже, чем характерные значения альфвеновской и быстрой магнитозвуковой скоростей в короне активных областей. Предложенная ранее интерпретация наблюдаемого развития энерговыделения вдоль НЛ, основанная на механизмах «whipping» и «zipping» (например, Liu et al. 2009), не может объяснить наблюдаемую скорость распространения энерговыделения. Nakariakov & Zimovets (2011) предложили интерпретацию, основанную на последовательной инициации магнитного пересоединения медленной магнитозвуковой волной, распространяющейся в аркаде вспышечных петель. Эта модель, естественным образом, объясняет наблюдаемую скорость, а также квазипериодический или нерегулярный характер

вспышечных кривых блеска (например, Grigis & Benz 2005). Тем не менее, данная модель нуждается в серьезном развитии с учетом неоднородности плазмы в аркаде. Другая интерпретация, основанная на хлопающих осцилляциях неустойчивого токового слоя над аркадой, была предложена Artemyev & Zimovets (2012), и применена в работе Reva et al. (2015) к одной вспышечной области на Солнце. В контексте сосисочных колебаний данная модель учитывает сдвиг (шир, shear) магнитного поля, однако плазма считается несжимаемой. Хлопающие колебания интенсивно изучаются в магнитосфере Земли (Zhang et al., 2002; Erkaev et al., 2007; 2009). В последние годы тема хлопающих колебаний в хвосте магнитосферы Земли получила значительное развитие - в основном за счет численного моделирования и измерений параметров плазмы *in situ* (например, Korovin et al., 2018; Kubyshkina et al., 2014), открывая возможность для адаптации и использования этих знаний в физике солнечной атмосферы. Кроме того, есть и альтернативные модели, предложенные другими группами. В частности, стоит отметить модель, разработанную Леденцовым и Сомовым (2016), которая основана на тепловой неустойчивости токового слоя над вспышечной магнитной аркадой. Предлагаемые в проекте исследования должны приблизить к ответу на вопрос, какие механизмы работают в двухленточных вспышках на Солнце.

Основными конкурентами, работающими в данной области, являются следующие научные группы: [1] группа профессора Li в Университете Шандонга, Китай (теоретическое моделирование); [2] группа профессора Tian из Пекинского университета, Китай (анализ наблюдательных данных); [3] группа профессоров De Moortel и Hood из университета Сент-Эндрюса, Великобритания (теоретическое моделирование и анализ данных); [4] группа профессора Зайцева и чл.корр. Степанова из ИПФАН и ГАО РАН, Россия (теоретическое моделирование); [5] группа профессора Богачева из ФИАН, Россия (наблюдения); [6] группа профессора Ofman из НАСА, США (наблюдения, моделирование); [7] группа профессора Сомова из ГАИШ МГУ, Россия (теория); [8] группа профессора Karlicky из Института Астрономии Чешской Республики (теория, наблюдения); [9] группа профессора Murawski из Университета Марии Склодовской-Кюри, Польша (численное моделирование); [10] группа профессора Yokoюта из Токийского Университета, Япония (численное моделирование); [11] группа профессора Михалева из КалмГУ, Россия (теория).

на английском языке

The study of magnetohydrodynamic (MHD) wave processes is one of the most rapidly developing branches of solar coronal physics. Over the past decade, there has been a significant increase in the sensitivity and resolution of both imaging and spectroscopic observational instruments. This made it possible to confidently register MHD waves in various plasma structures, and showed that these waves are a ubiquitous phenomenon in the Sun's atmosphere. Theoretical modeling of MHD waves in coronal plasma structures is usually based on the Zaitsev-Stepanov-Edwin-Roberts model (ZSER), in which the plasma inhomogeneity, that plays the role of a waveguide is considered as a plasma cylinder permeated and surrounded by a magnetic field (for example, Nakariakov & Kolotkov 2020; see this and other references in the list of references in the attached file). The ZSER model predicts the existence of three main MHD modes of the plasma cylinder: kink, longitudinal, and sausage modes, as well as a continuum of torsional Alfvén waves. The traditional interest in MHD waves is related to their possible participation in the coronal plasma heating process as an agent that transfers energy to the corona from the lower atmosphere and releases it at a certain height. However, the degree of participation of waves in coronal heating is still being discussed (for example, Karamelas et al. 2019). Another rapidly developing area of research is MHD seismology, the essence of which is to use MHD waves to diagnose plasma parameters and study specific physical mechanisms operating there. It has been demonstrated that MHD waves carry valuable and often unique information about the magnetic field in the coronal plasma of active regions, its thermodynamic properties, fine structuring, and transport coefficients. Seismological diagnostics becomes especially important for the corona, where the combination of high temperature and low plasma density makes traditional methods of astrophysical diagnostics ineffective. MHD seismology was identified among the key methods in the Global Space Weather Roadmap 2015-2025, commissioned by COSPAR and the international group "Live with a star" (Schrijver et al. 2015).

The majority of recent work in the field of MHD seismology focuses on the study of kink waves in coronal loops. Waves of this type carry information about the absolute value of the magnetic field and the transverse density profile in the oscillating loop. However, other types of waves, in particular, slow magnetoacoustic ("longitudinal") and sausage oscillations also have a high, although little used, seismological potential, which is especially important when diagnosing conditions in active regions during solar flares, where these types of waves are most often observed. Slow oscillations with typical periods of several minutes or longer are well resolved in coronal structures of active regions observed in the extreme ultraviolet (EUV), X-ray, and microwave ranges, which has been demonstrated in a number of studies (for example, Wang et al. 2018, Kupriyanova et al. 2019). Oscillations of this type are successfully detected both in observations with spatial resolution (images) and in spectral data (for example, Li et al. 2017). Statistical studies of slow oscillations show a characteristic linear dependence of

the attenuation time on the oscillation period and the dependence of the attenuation on the amplitude (Wang 2011, Nakariakov et al. 2019). The occurrence of predominantly slow oscillations in hot plasma (> 5 MK) is also a mystery, as is their occurrence in standing and reflecting or "sloshing" forms (for example, Kumar et al. 2013). Physical processes in a slow oscillation are directly related to the transverse structuring of density and temperature in the oscillating structure. This information is crucial for the understanding of filamentation, oriented along the magnetic field, which is inherent in the coronal plasma. However, theoretical simulations of slow oscillations usually been performed within the framework of one-dimensional acoustics, i.e., in the infinite field limit of the ZSER model (for example, Nakariakov et al. 2017). This approach ignores the influence of specific transverse plasma density and temperature profiles.

Detection of sausage oscillations is a more difficult task, since their characteristic periods are significantly less than one minute, while the cadence time of observations in the extreme ultraviolet (EUV) range performed by space observatories is about 12 seconds or longer. Therefore, sausage oscillations are usually detected in a series of images obtained in the microwave, radio, and hard X-ray bands (Van Doorselaere et al. 2016) in individual events. In particular, sausage oscillations with periods of 0.7 and 2 s were detected in broadband microwave emission in a flare (Mészárosová et al. 2016). Both the first and second harmonics of the sausage mode were detected in the 3-4 GHz range with a period of 1.4 s in the intensity channel and 0.7 s in the polarization channel in the solar microburst with RATAN-600 (Nakariakov et al, 2018). Sausage oscillations also manifest as modulation of solar radio bursts with a zebra structure (Yu et al. 2016; Kaneda et al. 2018). The global sausage mode was detected as 25-second oscillations in the intensity and Doppler shift of the hot coronal line (Tian et al. 2016). Recent theoretical modeling of sausage oscillations demonstrates their potential for estimating the plasma transverse structure in the oscillating coronal loop (Chen et al. 2016). Moreover, sausage oscillations can be used to diagnose the twist of the magnetic field in expanding loops. The magnetic twist is directly related to free magnetic energy available for release in flare, and therefore gives us an upper limit on flare energy. The effects associated with twist have been modeled under the assumption of piecewise radial inhomogeneity (e.g., Bembitov et al. 2014). The effect of the loop's curvature is usually considered in the framework of two-dimensional modeling (for example, Pascoe & Nakariakov 2016). The combined effect of curvature and twisting has not yet been studied. Statistical studies of sausage oscillations have not yet been carried out.

An important topic, that has been developed in recent publications, related to the project is the study of the role of wave processes in the development of the energy release process during flares. A solar flare is a fundamentally three-dimensional physical process, and energy release develops not only in the plane of the "standard flare model" (with X-point reconnection, the ejected plasmoid, and the flare loop), but also in the perpendicular direction, which is most noticeable in the case of powerful two-ribbon flares. This evolution is manifested by the sequential "ignition" of the plasma loops of the flare arcade and development the hard X-ray (HR) emission sources along the neutral line (NL). Understanding the mechanisms of flare development along the NL is crucial for estimating the rate of flare energy release and, consequently, its power. Typical observed speeds range from a few to a few hundreds of km/s (for example, Bogachev et al. 2005, Grigis & Benz 2005, Kuznetsov et al., 2016; Qiu et al., 2017), which is lower than the characteristic values of the Alfvén and fast magnetoacoustic velocities in the coronal active regions.

The previously proposed interpretation of the observed development of energy release along NL, based on the "whipping" and "zipping" mechanisms (for example, Liu et al. 2009), cannot explain the observed speed of the energy release propagation. Nakariakov & Zimovets (2011) proposed an interpretation based on the sequential initiation of magnetic reconnection by a slow magnetoacoustic wave propagating in the arcade of flare loops. This model explains the observed speed, as well as the quasi-periodic or irregular nature of flare light curves (for example, Grigis & Benz 2005). However, this model needs serious development, taking into account the heterogeneity of the plasma in the arcade. Another interpretation based on flapping oscillations of an unstable current sheet over an arcade was proposed by Artemyev & Zimovets (2012), and applied in Reva et al. (2015) to a single solar flare region. In the context of sausage oscillations, this model takes into account the shift (shear) of the magnetic field, but the plasma is considered incompressible. Flapping oscillations are intensively studied in the Earth's magnetosphere (Zhang et al., 2002; Erkaev et al., 2007; 2009). In recent years, the topic of flapping oscillations in the tail of the Earth's magnetosphere has developed significantly, mainly due to numerical modeling and in situ measurements of plasma parameters (for example, Korovinsky et al., 2018; Kubyshkina et al., 2014), opening up the possibility for adapting and using this knowledge in the physics of the solar atmosphere. In addition, there are alternative models proposed by other groups. In particular, it is worth noting the model developed by Ledentsov and Somov (2016), which is based on thermal instability of the current sheet above the flare magnetic arcade. The research proposed in the project should bring us closer to the answer to the question about mechanisms which work in two-ribbon solar flares.

The main competitors working in this field are the following research groups: [1] the group of Professor Li at Shandong

University, China (theoretical modeling); [2] the group of Professor Tian from Peking University, China (analysis of observational data); [3] the group of professors De Moortel and Hood from the University of St. Andrews, UK (theoretical modeling and data analysis); [4] the group of Professor Zaitsev and Stepanov from IPFAN and GAO RAS, Russia (theoretical modeling); [5] Professor Bogachev's group from FIAN, Russia (observations); [6] the group of Professor Ofman from NASA, USA (observations, modeling); [7] the group of Professor Somov from GAIsh MSU, Russia (theory); [8] the group of Professor Karlicky from the Institute of Astronomy of the Czech Republic (theory, observations); [9] the group of Professor Murawski from Maria Sklodowska-Curie University, Poland (numerical modeling); [10] the group of Professor Yokoyama from the University of Tokyo, Japan (numerical modeling); [11] the group of Professor Mikhalyaev from KalmSU, Russia (theory).

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

Задачи проекта разбиты на три рабочих пакета (Work Packages - WP), которые связаны друг с другом общей методологией. Детальное описание рабочих пакетов более подробно представлено ниже. Новизна предлагаемой в проекте методологии заключается в:

- объединении и взаимодополнении результатов теоретического анализа и анализа данных (WP1.1, WP1.2, WP3.2);
- эффективном использовании результатов, полученных в физике магнитосферы Земли (WP3.3);
- системном подходе, предполагающем накопление и систематизацию информации о наблюдениях, выполненных разными инструментами и в разных диапазонах, в виде единого каталога событий (WP1.3, WP2.1, WP3.1);
- использовании передовых методов анализа данных, специально предназначенных для изучения сигналов, имеющих нестационарный, нелинейный и многомодовый характер (WP1.3, WP3.1);
- использовании уникальных многоволновых пространственно-разрешенных радионаблюдений Солнца, выполненных на CPG (WP3.1).

Аналитические модели будут разработаны на основе стандартных методов описания МГД-волн в плазменных волноводах, которые интенсивно используются нашей командой (например, Nakariakov et al. 2016). Эволюционное уравнение типа Бюргерса для слабо нелинейных наклонных медленных волн, направляемых гладкой поперечной неоднородностью плазмы, будет получено в рамках асимптотического формализма, разработанного в работе (Nakariakov et al. 1997) для быстрых волн. Нелинейная эволюция стоячих медленных волн будет описана сочетанием полученного уравнения типа Бюргерса с формализмом, разработанным Рудерманом (Ruderman 2013).

Новым элементом этого проекта является эффективное совместное использование знаний о солнечной короне и магнитосфере Земли, следуя направлениям, сформулированным в обзоре (Nakariakov et al. 2016). Указанный подход позволит выйти за рамки модели ZSER при теоретическом моделировании МГД-волн в короне. Мы адаптируем и используем магнитосферные модели медленных магнитозвуковых волн в магнитном слое (гофрировочные моды) и хлопающих колебаний в макроскопическом токовом слое. Ранее были получены аналитические решения для неустойчивых хлопающих волн в пределах слабого и сильного магнитного шира (сдвига), для коротких и длинных волн (Artemyev & Zimovets, 2012) в несжимаемой МГД для удлиненного квази-вертикального токового слоя в короне. Было показано, что направляющее магнитное поле оказывает стабилизирующее воздействие на хлопающие волны. Вклад направляющего поля в неустойчивые хлопающие волны в токовом слое магнитного хвоста Земли был исследован как аналитически, так и с помощью линеаризованного 2D и нелинейного 3D МГД-моделирования (Korovinyskiy et al., 2015). Были установлены следующие важные свойства хлопающих волн: стабилизация для коротковолновых мод, появление типичной (наиболее быстро растущей) длины волны порядка ширины токового слоя, уменьшение максимальной скорости роста при увеличении ведущего поля и полное затухание для значений ведущего поля более половины поля долей магнитного хвоста.

Важным элементом сейсмологии являются методы Моделирования Инструментальных Откликов (МИО), то есть создания синтетических наблюдений, показывающих, как различные колебательные моды должны выглядеть в данных различных наблюдательных инструментов. Входные данные для такого расчета могут быть получены из численного МГД-моделирования или построены на основе аналитических моделей. Популярным инструментом для моделирования инструментальных откликов является программный код FoMo (Van Doorselaere et al. 2016), который будет адаптирован для целей проекта. Этот программный код был применен для моделирования медленных колебаний в горячих петлях (Yuan et al. 2015, Mandal et al. 2016). Shi et al. (2019) выполнили МИО на модуляцию коронального излучения

сосисочными колебаниями с учетом эффектов неравновесной ионизации. Похожим инструментом для МИО радиоизлучения (в частности, микроволнового) является пакет GX_Simulator (Nita et al. 2015, 2018), который применялся для моделирования наблюдательных проявлений сосисочных колебаний в микроволновом излучении (Kuznetsov et al. 2015); см. рисунок 1 в приложении. Участники проекта (Кузнецов А.А. и Анфиногентов С.А.) активно участвуют в развитии данного пакета и имеют возможность при необходимости адаптировать его под задачи проекта.

Оценка скрученности магнитного поля по наблюдаемым МГД-колебаниям, а также другие задачи проекта по определению характеристик плазмы солнечных активных областей, являются задачами по определению параметров модели, дающих наилучшее согласие теоретических предсказаний с данными наблюдений. Традиционно такие задачи решаются подгонкой свободных параметров модели, таким образом, чтобы ее предсказания были как можно ближе к наблюдательным данным. Чаще всего для этого используются различные вариации метода наименьших квадратов. В случае большого количества искомых параметров и сложности модели решение этой задачи становится нетривиальным. Чтобы получить достоверную физическую информацию, недостаточно оценить только наиболее вероятные значения параметров, но также необходимо определить доверительные интервалы и выявить зависимости между параметрами модели. Кроме того, большое значение имеет правильное сравнение нескольких альтернативных моделей, учитывающих различные физические эффекты. Все эти проблемы успешно решаются с помощью байесовской статистики в сочетании с методом Монте-Карло по схеме Марковской цепи (MCMC). Модель может быть определена как простым аналитическим выражением, так и сложным численным моделированием, включая МИО. Метод MCMC осуществляет выборку из многомерного апостериорного распределения вероятностей параметров модели, строит гистограммы для каждого параметра, а затем оценивает наиболее вероятные значения и соответствующие доверительные интервалы. Последние могут быть асимметричными и оставаться правильными даже для многомодовых распределений. Явные или неявные отношения между параметрами модели выявляются и визуализируются с помощью двумерных гистограмм. Кроме того, конкурирующие модели оцениваются с использованием байесовского фактора, при этом сравниваются не только наилучшие приближения, а модели в целом. В проекте мы будем использовать код MCMC (<https://github.com/Sergey-Anfinogentov/SoBAT>), разработанный исполнителем проекта Анфиногентовым С.А. Код был успешно применен для сейсмологического анализа затухающих изгибных колебаний корональных петель и для определения профиля поперечной плотности корональных петель из наблюдаемого профиля интенсивности КУФ излучения (Pascoe et al. 2017, 2018). На рисунке 2 в приложении показаны результаты применения Байесовского анализа для определения контраста плотности и толщины переходного слоя между ядром корональной петли и окружающей плазмой.

При изучении МГД-колебаний в корональных петлях и квазипериодических пульсаций (КПП) вспышечного излучения особое внимание будет уделено потенциально многомодовым колебательным сигналам, нестационарным колебаниям и пульсациям, параметры которых изменяются с течением времени (например, Nakariakov et al. 2019). Мы будем использовать новую методику, разработанную в совместном проекте Российского фонда фундаментальных исследований и Международного проекта Королевского общества, проводимом Куприяновой Е.Г. в 2018-2019 годах. Методика заключается в уникальном сочетании стандартных методов (периодограмма Фурье, вейвлет) с методом разложения по эмпирическим модам (EMD). В отличие от стандартных методов, EMD не использует разложение временных рядов по предопределенным периодическим базовым функциям. EMD метод анализирует временные масштабы самого временного ряда, выделяя общие временные масштабы во внутреннюю эмпирическую моду. Методом итераций выделяются моды разных временных масштабов, от низкочастотного тренда до высокочастотного шума. Каждая из мод, по сути, представляет нестационарный и ангармонический колебательный сигнал. По этой причине метод EMD наилучшим образом подходит для анализа нестационарных колебаний (например, Kolotkov et al., 2018a,b). Уровни достоверности обнаружения в присутствии тренда и цветного шума могут быть оценены с использованием оригинального метода, разработанного в работе (Kolotkov et al. 2016a).

В радиодиапазоне будут использованы архивные данные радиогелиографа Нобеяма (NoRH). Команда проекта обладает обширным опытом использования данных NoRH, включая членство в Международном консорциуме для продолжения деятельности NoRH и регулярное выполнение функций главных наблюдателей NoRH. Кроме того, будут привлечены данные радиотелескопа Owens Valley Solar Array (EOVSA) и нового Сибирского Радиогелиографа (СРГ; Алтынцев и др. 2020) - инструмента для получения изображений Солнца в микроволновом диапазоне (в интенсивности и круговой поляризации) с высоким временным разрешением на многих частотах одновременно, который строится в настоящее время в Радиоастрофизической Обсерватории ИСЗФ СО РАН. С 2016 г. проводятся регулярные наблюдения на 48-антенном прототипе СРГ (Лесовой и др. 2017) на 32 частотах в диапазоне 4-8 ГГц. Полная версия СРГ будет состоять из трех независимых антенных решеток, работающих в диапазонах частот 3-6, 6-12 и 12-24 ГГц, которые обеспечат

высокое пространственное (7-30", в зависимости от частоты) и временное (0.1-1 с) разрешение. В 2020 г. планируется начало регулярных наблюдений в диапазоне 3-6 ГГц; затем будут запущены антенные решетки на 12-24 и 6-12 ГГц. Пример радиокарт, получаемых действующим прототипом СРГ, показан на рисунке 3 в приложении. После прекращения наблюдений на радиогелиографе Нубеяма 31 марта 2020 года, СРГ и EOVSА стали единственными в мире радиотелескопами, которые получают регулярные двумерные радиоизображения Солнца в микроволновом диапазоне, и данные которых находятся в открытом доступе. Данные именно этих инструментов будут привлекаться для анализа событий, произошедших после 31 марта 2020 г. Многочастотные наблюдения делают СРГ уникальным солнечным инструментом для предлагаемого проекта, позволяющим комбинированное пространственно-спектрально-временное разрешение солнечных вспышек и возникающих в них осцилляций. Участники проекта непосредственно вовлечены в работу над СРГ. Другими инструментами Радиоастрофизической Обсерватории ИСЗФ СО РАН, которые будут использоваться в проекте, являются многоканальные спектрополяриметры, обеспечивающие получение динамических спектров солнечного микроволнового излучения (с разрешением 10 мс на 26 частотах в диапазоне 4-8 ГГц и с разрешением 1 с на 16 частотах в диапазоне 2-24 ГГц).

Набор данных, которые необходимо привлекать для анализа различных МГД-мод, зависит от типа моды. Поскольку сосисочная мода имеет короткий характерный временной масштаб (период), составляющий менее нескольких десятков секунд, для поиска таких колебаний будут использоваться инструменты, обеспечивающие наиболее высокое временное разрешение. В частности, в микроволновом диапазоне мы будем использовать NoRH, СРГ и широкополосные спектрополяриметры (открытый доступ). В рентгеновском диапазоне будут использоваться данные Reuven Ramaty High Energy Solar Spectroscopic Imager (RHESSI) и Konus/WIND, также находящиеся в открытом доступе. Однако, поскольку временное разрешение RHESSI хуже, чем у микроволновых инструментов, данные RHESSI будут использоваться только для анализа периодов, превышающих 15 с. Временное разрешение данных Konus/WIND, от 2 мс в триггерном режиме, позволяет использовать его для исследования короткопериодических сосисочных осцилляций. Тем не менее, этот инструмент, в отличие от RHESSI, не предоставляет пространственной информации, регистрируя лишь интегральный поток рентгеновского излучения Солнца. Пространственная локализация КПП в разных волновых диапазонах будет проводиться с помощью инструментов с доступным пространственным разрешением: СРГ (4-8 ГГц, с расширением диапазона в период выполнения проекта), Expanded Owens Valley Solar Array (EOVSA, 1-18 ГГц), NoRH (17 и 34 ГГц, архивные данные), RHESSI (3-300 кэВ, архивные данные), Atmospheric Imaging Assembly (AIA) на борту SDO, а также SDO/HMI. Комбинация указанных инструментов также обеспечивает высокое спектральное разрешение, что важно для восстановления энергетических спектров излучения и, тем самым, позволяет идентифицировать механизм излучения и генерации КПП (все разнообразие возможных механизмов генерации КПП проиллюстрировано на рисунке 4 в приложении). Анализ спектров позволяет оценить параметры популяций тепловой плазмы и нетепловых электронов, а также их эволюцию в процессе вспышки. Медленные моды имеют более длительные характерные периоды (порядка нескольких минут), поэтому максимальное временное разрешение не требуется, но необходимо высокое пространственное разрешение. Поэтому будут использованы данные в УФ и КУФ диапазонах, полученные с помощью SDO/AIA. Команда проекта имеет большой опыт использования данных открытого доступа RHESSI и SDO/AIA (где В. М. Накаряков является Associate Investigator), а также SDO/HMI. Будет проведено детальное изучение параметров КПП в каждом конкретном диапазоне независимо и их возможных взаимосвязей, а также КПП в широкополосных сигналах.

Информация о магнитном поле и энерговыделении вспышки в фотосфере будет получена с помощью SDO/HMI с угловым разрешением 1". Наряду со стандартными 45-секундными магнитограммами (в проекции на луч зрения) мы будем использовать векторные магнитограммы HMI с высоким временным разрешением (90 с и 135 с), которые недавно появились в открытом доступе (Sun et al., 2017) и не получили пока широкого применения.

Теория неустойчивых хлопающих волн будет приложена к солнечным двухленточным вспышкам с использованием систематических измерений величины магнитного шира в случаях «zipping» распространения парных источников ЖР излучения вдоль НЛ. В качестве базы мы будем использовать каталог наблюдений (Kuznetsov et al., 2016) и моделирование (Zimovets et al., 2018). Следующим шагом будет численное моделирование развития неустойчивых хлопающих колебаний в вертикальных трехмерных токовых слоях в короне при физических условиях, подходящих для двухленточных вспышек. Будет выполнено численное моделирование уравнений сжимаемой МГД для корональных токовых слоев. Будут смоделированы различные конфигурации токовых слоев. В качестве первого шага будет рассмотрено развитие пространственно локализованных возмущений токовых слоев с геометрией, рассмотренной в (Artemyev & Zimovets, 2012). В качестве второго шага будет выполнено 3D моделирование развития хлопающих колебаний в 2.5D токовом слое под эруптивным волокном (Zhao et al., 2017, 2019). В качестве третьего шага будет

исследована эволюция токовых слоев с начальными условиями, отличными от тех, которые используются в (Zhao et al., 2017, 2019), в частности, будут приняты во внимание неоднородности вдоль нейтральной линии магнитного поля. Особое внимание будет уделено параметрическому исследованию неустойчивости хлопающих колебаний в зависимости от магнитного шира.

Проект состоит из трех отдельных рабочих пакетов (WP), которые связаны друг с другом общей методологией. У каждого WP есть назначенный руководитель, который будет контролировать деятельность и отчетываться перед руководителем проекта.

WP1: Сосисочные колебания вспышечных петель. Руководитель: Е.Г. Куприянова.

WP1.1 Теоретическое моделирование сосисочных колебаний в коротких горячих вспышечных петлях с учетом эффектов переменного сечения петли, скрученности магнитного поля петли и кривизны петли. Проведение трехмерного численного моделирования развития локально-осесимметричного возмущения в петле, моделируемой в виде магнитной трубки, заполненной плотной плазмой, в дипольном магнитном поле. Близкая к критической скрученность магнитного поля будет введена вращением одного из оснований петли. Параметрическое исследование зависимости периодов разных пространственных гармоник сосисочных колебаний от степени скрученности и получение эмпирических формул для этих зависимостей, например, в виде полинома.

WP1.2 Используя результаты WP1.1, проведение МИО на различные пространственные гармоники сосисочных колебаний в изображениях, полученных с помощью различных инструментов (RHESSI, NoRH и CPG) как в оптически тонком, так и в оптически толстом режимах, с учетом различных распределений нетепловых электронов по энергии, питч-углу и объему плазмы.

WP1.3 (а) Поиск характерных признаков сосисочных колебаний в данных NoRH и RHESSI (архивные данные), CPG и Kopus/WIND (архивные данные и новые наблюдения), используя существующие каталоги КПП, уделяя внимание ангармоническим колебаниям как возможной сигнатуре многомодовых колебаний, а также вспышкам в активных областях с уже оцененными сильными токами. (б) Анализ многомодовых событий. (с) Интерпретация с точки зрения теоретических оценок, полученных в WP1.1 и WP1.2. Определение скрученности магнитного поля в колеблющихся петлях с помощью байесовского анализа методом МСМС на основе результатов WP1.1, сравнение с предыдущими оценками степени скрученности, где это возможно.

Работа по программе WP1 позволит получить следующие новые результаты: теоретическую зависимость параметров сосисочных колебаний от скрученности магнитного поля и кривизны осциллирующей петли; новые сейсмологические методы оценки скрученности в расширяющихся петлях; оценку скрученности и ее возможной эволюции во время вспышки.

WP2: Медленные магнитозвуковые колебания петель. Руководитель: Р.А. Сыч

WP2.1 Проведение всестороннего поиска плещущихся и стоячих медленных МГД колебаний в корональных петлях с использованием данных SDO/AIA. Для плещущихся колебаний, анализ параметров для различных пространственных гармоник. (а) Создание каталога событий (начиная с данных AIA с помощью Helioviewer и базы знаний HelioPhysics Events Knowledgebase), его комбинация со списком уже описанных событий, обобщенным в (Nakariakov et al., 2019). (б) Определение связей между параметрами колебаний с параметрами петель, расширение списка событий (Nakariakov et al., 2019) включением плещущихся колебаний. Изучение разницы между стоячими и плещущимися колебаниями.

WP2.2 Разработка двумерной модели стоячих и плещущихся медленных магнитозвуковых колебаний в корональной петле, представленной в виде прямого плазменного цилиндра, вытянутого вдоль магнитного поля, с плавным равновесным профилем поперечного сечения слоя/цилиндра. (а) Теоретические оценки влияния наклона волнового вектора к оси петли на параметры волн, в линейном режиме. (б) Выявление связей между параметрами колебаний (периодов и амплитуд различных пространственных мод) и параметрами волновода (крутизна профиля, плазменное β).

WP2.3 Проведение МГД численного моделирования стоячих и плещущихся медленных МГД колебаний, используя модель петли, полученную в WP1.1. (а) Оценка влияния кривизны и скрученности магнитного поля на медленные колебания в случае конечного плазменного β . Определение взаимосвязей параметров колебаний и параметров петли. (б) МИО на стоячие и плещущиеся медленные колебания в различных каналах AIA и в микроволновом излучении.

Разработка МГД-сейсмологического метода оценки поперечных профилей плотности и температуры в осциллирующей петле.

В результате работы по WP2 будут получены следующие новые результаты: усовершенствованная модель медленных магнитозвуковых колебаний в корональной петле, учитывающая поперечную структуру петли, скрученность магнитного поля и кривизну петли; новые МГД сейсмологические методы исследования поперечной структуры петель; определение неоднородностей температуры и плотности корональных петель и их зависимости от указанных параметров петли.

WP3: Квазипериодические процессы в двухленточных вспышках. Руководитель: А.А. Кузнецов

WP3.1. Анализ перемещения источников вспышечного энерговыделения вдоль нейтральной линии двухленточных вспышек по данным, полученным с помощью инструментов NoRH и CPG, с привлечением данных SDO/AIA и SDO/HMI в качестве контекстных инструментов. (а) Определение зависимости скорости перемещения от параметров аркады, особенно от магнитного шира (сдвига) аркады, и от стадии развития аркады. Сравнение с результатами WP3.3а. (б) Поиск КПП в основаниях аркады и, если они найдены, поиск КПП в вершине аркады, и их пространственно-временной анализ. Оценка временной задержки между КПП, наблюдаемыми в разных спектральных диапазонах, а также в вариациях меры эмиссии и температуры, изучение связи динамики вспышечных ленточных оснований аркады (в УФ излучении) и источников жесткого рентгеновского излучения. Исследование временной связи между появлением лент солнечной вспышки и началом движения рентгеновских источников (запаздывание/одновременность/опережение) и получение физических параметров аркад и движений источников, которые можно использовать для сопоставления с результатами моделирования для его проверки.

WP3.2 Теоретическое моделирование медленных волн, распространяющихся во вспышечной аркаде с отражением в подножиях вдоль нейтральной линии и играющих роль триггера, инициирующего магнитное пересоединение (развитие модели Накарякова и Зимовца, Nakariakov & Zimovets 2011). (а) Выявление свойств медленных волн в аркадах, моделируемых в виде полуцилиндрического слоя плазмы, плавнонеоднородного в радиальном направлении, в частности, зависимости групповой скорости от параметров аркады. (б) Сравнение полученных теоретических результатов с наблюдательными результатами, представленными в работах (Bogachev et al. 2005, Li & Zhang 2009, Reznikova et al. 2010, Kuznetsov et al 2016). (в) Проведение исследований характерного поведения температуры и меры эмиссии излучающей плазмы аркады, а также их связи между собой, для группы вспышек, у которых наблюдаются КПП на фазе спада по данным в мягком рентгеновском диапазоне. (г) Разработка методики, позволяющей отличить механизм, основанный на медленных волнах, от механизма zipping/whipping пересоединения.

WP3.3 Исследование эволюции вспышечных и поствспышечных аркад как результат сосисочной моды хлопающих осцилляций, распространяющихся в макроскопическом корональном токовом слое с направляющим (guide) магнитным полем. (а) Развитие аналитической модели (Artemyev & Zimovets, 2012) на не рассмотренные ранее области параметров и пересмотр наблюдений Reva et al. (2015), Kuznetsov et al. (2016) и Zimovets et al. (2018). (б) 3D-моделирование хлопающих волн в более сложных и реалистичных моделях корональных токовых слоев (например, Zhao et al. 2017, 2019), и их модификация, включающих наличие неоднородностей вдоль нейтральной линии. Определение диапазона физических характеристик токового слоя (толщина, плотность плазмы, значения компонент магнитного поля), для которого фазовая и групповая скорости и длина волны хлопающих колебаний лежат в диапазонах, доступных наблюдениям. (в) На основе анализа наблюдений (представленных в WP3.1) и моделирования, разработка МГД сейсмологического метода для диагностики пересоединяющихся токовых слоев в мощных двухленточных вспышках.

Исследования, проводимые в рамках WP3 позволят получить следующие новые результаты: модель распространения медленных волн по неоднородной магнитной аркаде вдоль нейтральной линии; модель хлопающих колебаний в трехмерных корональных токовых слоях с неоднородностями вдоль нейтральной линии, характерными для вспышечных областей на Солнце; определение основных физических параметров, определяющих скорость распространения области вспышечного энерговыделения вдоль нейтральной линии и, следовательно, мощность вспышки; сейсмологический метод диагностики пересоединяющихся токовых слоев в мощных двухленточных вспышках.

Общий план работы на весь срок выполнения проекта

1 год

1) Исследование сосисочных колебаний во вспышечных петлях. Включает в себя:

а) Теоретическое исследование зависимости периодов колебаний разных пространственных гармоник сосисочных колебаний в зависимости от скрученности магнитного поля на основе модельных расчетов. Определение взаимной зависимости параметров сосисочных колебаний и скрученности колеблющейся петли.

б) Проведение МИО на различные пространственные гармоники сосисочных колебаний по наблюдениям в разных диапазонах; оно включает в себя исследование в оптически тонком и в оптически толстом режимах, учитывает различные распределения ускоренных электронов по питч-углу и энергии.

в) Поиск характерных признаков сосисочных колебаний по наблюдениям в различных диапазонах. Особое внимание будет уделено событиям с ангармоническими колебательными сигналами, так как ангармоничность сигнала является возможным индикатором многомодовых колебаний. В первую очередь будут рассмотрены вспышки в активных областях, где по оценкам существовали сильные токи. Будет выполнен анализ полученных результатов, на основе которого будут дополнены существующие каталоги.

2) Исследование плещущихся и стоячих медленных колебаний в корональных петлях. Включает в себя:

а) Комплексный поиск плещущихся и стоячих медленных колебаний в корональных петлях с использованием данных SDO/AIA. Создание каталога событий с плещущимися и стоячими медленными колебаниями, его комбинация со списком событий описанных в Nakariakov et al. (2019).

б) Для плещущихся колебаний проведение анализа параметров различных пространственных гармоник.

3) Исследование медленных волн, распространяющихся по вспышечной аркаде вдоль нейтральной линии и играющих роль триггера магнитного пересоединения (развитие модели Nakariakov & Zimovets, 2011). Включает в себя:

а) Аналитические расчеты в рамках упрощенной модели, численное моделирование в рамках полной системы МГД уравнений. Выявление свойств медленных волн в радиально-неоднородных аркадах. Определение зависимости групповой скорости от параметров аркады.

б) Сравнение полученных теоретических результатов с результатами, полученными в наблюдательных работах Vogachev et al. (2005), Li & Zhang (2009), Reznikova et al. (2010), Kuznetsov et al. (2016).

в) Разработка методики, позволяющей отличить механизм, основанный на медленных волнах в аркадах, от механизма zipping/whipping пересоединения.

4) Подготовить 5 статей и направить в рецензируемые научные журналы с высоким импакт-фактором. Представление результатов первого года проекта на отечественных и международных конференциях.

5) Создание веб-сайта проекта.

2 год

1) Интерпретация сосисочных колебаний в скрученных вспышечных петлях на основе теоретических оценок, полученных в течение первого года. Определение скрученности магнитного поля в колеблющихся петлях с помощью байесовского анализа методом МСМС, сравнение с предыдущими оценками степени скрученности.

2) Исследование стоячих и плещущихся медленных МГД колебаний во вспышечных петлях. Включает в себя:

а) Продолжение поиска событий с плещущимися и стоячими колебаниями. Определение соотношений параметров плещущихся и стоячих медленных МГД колебаний с параметрами петель. Изучение разницы между стоячими и плещущимися колебаниями.

б) Дополнение каталога (Nakariakov et al., 2019) событиями с плещущимися колебаниями. Публикация каталога на сайте проекта.

в) Разработка двумерной модели стоячих и плещущихся медленных магнитозвуковых колебаний в корональной петле с плавным равновесным профилем поперечного сечения слоя/цилиндра. Аналитические оценки влияния наклона волнового вектора к оси цилиндра на параметры волн, в линейном режиме. Выявление связей параметров колебаний (периодов и амплитуд различных пространственных мод) и параметров волновода (крутизна профиля, плазменное β).

3) Исследование вспышечных аркад, демонстрирующих смещение источников вспышечного энерговыделения вдоль нейтральной линии магнитного поля. Включает в себя:

а) Анализ динамики смещения источников вдоль нейтральной линии для двухленточных вспышек по данным, полученным с помощью инструментов RHESSI, NoRH и CPG, SDO/AIA и SDO/HMI.

б) Определение зависимости скорости перемещения от параметров аркады от магнитного шира (сдвига) аркады, и от стадии развития аркады.

в) Поиск КПП в основаниях и в вершине аркады, их пространственно-временной анализ.

4) Подготовка и публикация 6 статей в рецензируемых научных журналах с высоким импакт-фактором. Представление результатов второго года проекта на отечественных и международных конференциях и публикация их на сайте

проекта.

3 год

1) Исследование стоячих и плещущихся колебаний во вспышечных петлях. Включает в себя:

а) Проведение трехмерного численного моделирования колебаний для модели петли, построенной в течение первого года проекта. Оценка влияния кривизны и скрученности магнитного поля на медленные колебания в случае конечного плазменного β . Определение взаимосвязей параметров колебаний и параметров петли.

б) Проведение МИО на стоячие и плещущиеся медленные колебания в различных каналах SDO/AIA и радиогелиографов.

в) Разработка МГД сейсмологического метода оценки поперечных профилей плотности и температуры в осциллирующей петле.

2) Продолжение исследования двухленточных вспышек, демонстрирующих перемещения источников вспышечного энерговыделения вдоль нейтральной линии. Включает в себя:

Поиск КПП в основаниях и в вершине аркады, их пространственно-временной анализ. Изучение связи динамики ленточных оснований аркады в УФ излучении и источников ЖР излучения. Выявление временных закономерностей между уярчениями оснований аркады и "zipping" появлением источников ЖР излучения.

3) Исследование колебательных процессов во вспышечных и послевспышечных аркадах. Включает в себя:

а) Моделирование развития вспышечных и послевспышечных аркад как результата сосисочной моды неустойчивых хлопающих осцилляций, распространяющихся в макроскопическом корональном токовом слое с направляющим магнитном полем.

б) Определение диапазона физических характеристик токового слоя (толщина, плотность плазмы, значения компонент магнитного поля), для которого фазовая и групповая скорости и длина волны хлопающих колебаний лежат в диапазонах, доступных наблюдениям.

в) Разработка МГД сейсмологического метода для диагностики пересоединяющихся токовых слоев в мощных двухленточных вспышках на основе проведенного в проекте анализа наблюдений и моделирования вспышечных аркад.

4) Подготовка и публикация 5 статей в рецензируемых научных журналах с высоким импакт-фактором. Представление результатов третьего года проекта на отечественных и международных конференциях и на сайте проекта.

Ожидаемые конкретные результаты по годам

1 год

1) Эмпирическая зависимость между параметрами сосисочных колебаний и скрученностью колеблющейся петли.

2) Характеристики высших пространственных гармоник сосисочных мод во вспышечных областях.

3) Веб-сайт проекта.

4) Каталог событий с плещущимися и стоячими медленными колебаниями, его комбинация со списком уже описанных событий, обобщенным в Nakariakov et al. (2019). Публикация каталога на сайте проекта.

5) Свойства медленных волн, распространяющихся по вспышечной радиально-неоднородной аркаде. Зависимость групповой скорости от параметров аркады.

6) Выявление квазипериодического временного поведения температуры и меры эмиссии излучающей плазмы нескольких вспышечных аркад.

7) Методика, позволяющая отличить механизм энерговыделения, основанный на медленных волнах в аркадах, от механизма zipping/whipping пересоединения.

8) Подготовка 5 статей и направление в печать в рецензируемые научные журналы с высоким импакт-фактором. Представление результатов первого года проекта на отечественных и международных конференциях.

2 год

1) Оценка параметров магнитной скрученности и ее возможной эволюции во время вспышки.

2) Определенные закономерности соотношений параметров плещущихся и стоячих медленных МГД колебаний с параметрами петель. Определение разницы между стоячими и плещущимися колебаниями.

3) Расширенный каталог событий, включающий плещущиеся и стоячие колебания. Публикация каталога на сайте проекта.

4) Усовершенствованная модель медленных магнитозвуковых колебаний в корональной петле, учитывающая поперечную структуры плазмы в магнитной петле, скрученность магнитной петли и кривизну петли.

5) Новые сейсмологические методы исследования поперечного структурирования плазмы в петле.

- 6) Протестированная методика, позволяющая отличить механизм энерговыделения, основанный на медленных волнах в аркадах, от механизма *zipping/whipping* пересоединения.
- 7) Закономерности смещения источников вдоль нейтральной линии для двухленточных вспышек. Зависимость скорости перемещения от параметров аркады. Оценки скорости распространения вспышки вдоль нейтральной линии и, следовательно, мощности вспышки.
- 8) Подготовка и публикация 6 статей в рецензируемых научных журналах с высоким импакт-фактором. Представление результатов второго года проекта на отечественных и международных конференциях и публикация их на сайте проекта.

3 год

- 1) Оценка влияния кривизны и скрученности магнитного поля на медленные колебания в случае конечного плазменного β . Определенные взаимосвязи между параметрами колебаний и параметрами петли.
- 2) Новый МГД сейсмологический метод оценки поперечных профилей плотности и температуры в осциллирующей петле.
- 3) Оценки временных задержек между КПП, наблюдаемыми в разных диапазонах электромагнитного спектра, а также в вариациях меры эмиссии и температуры.
- 4) Временные закономерности между динамикой ленточных оснований аркады в УФ излучении и *zipping* появлением источников ЖР излучения.
- 5) Модель развития всплывающих и поствсплывающих аркад как результата сосисочных колебаний, распространяющихся в макроскопическом корональном токовом слое в направляющем магнитном поле.
- 6) Определенный диапазон физических характеристик токового слоя (толщина, плотность плазмы, значения компонентов магнитного поля), для которого фазовая и групповая скорости и длина волны хлопающих колебаний лежат в диапазонах, доступных наблюдениям.
- 7) МГД сейсмологического метода для диагностики пересоединяющихся токовых слоев в мощных двухленточных вспышках.
- 8) Подготовка и публикация 5 статей в рецензируемых научных журналах с высоким импакт-фактором. Представление результатов второго года проекта на отечественных и международных конференциях и на сайте проекта.

Проект будет координироваться руководителем проекта, В.М. Накаряковым. Отвечая условиям, сложившимся в результате пандемии Ковид-19, существенная часть администрирования проекта будет осуществляться в онлайн режиме, с учетом огромного опыта, накопленного нашей командой в течение 2020 года. Каждые две недели будут проводиться MS Teams или Zoom совещания, целью которых будет отслеживать ход выполнения проекта в целом, а также выявлять и устранять любые проблемы, влияющие на работу. Ежемесячно руководитель проекта, ответственные исполнители и руководители рабочих пакетов будут проводить телеконференции (MS Teams или Zoom), отслеживая и координируя прогресс в отдельных рабочих пакетах. Параллельно лидеры рабочих пакетов будут проводить по крайней мере ежемесячные телеконференции с участием всех участников, вовлеченных в их рабочий пакет. Каждый месяц команда проекта будет проводить исследовательский вебинар с презентациями членов команды (предпочтительно молодых исследователей) о своих последних научных достижениях в рамках проекта и прогрессе, достигнутом в направлении проекта конкурирующими группами (по результатам публикаций, презентаций на конференциях и частных сообщений). Каждая направляемая в печать научная статья, представляющая результаты исследований в рамках проекта, будет проходить апробацию на вебинаре. Совместная работа отдельных участников проекта, при условии их работы на удаленной основе или в разных организациях, будет осуществляться с использованием электронной почты и MS Teams или Zoom, а также с использованием облачных хранилищ данных.

Результаты проекта будут распространяться в обычном порядке через научные публикации в научных журналах (не менее 16 научных статей в рецензируемых научных журналах, проиндексированных в Web of Science и Scopus) и презентации на научных конференциях, а также посредством публичных лекций и статей в научно-популярные журналы.

Риски, связанные с проектом, считаются низкими. Мы будем использовать проверенные коды для численного моделирования и МИО, хорошо разработанные методы анализа данных и надежные аналитические методы. Команда проекта компетентна во всех аспектах проекта. Необходимые данные находятся либо в открытом доступе, либо доступны через непосредственное участие участников проекта в научных командах необходимых инструментов. Интересующие нас природные явления регулярно наблюдаются астрономическими инструментами, и их частные случаи хорошо изучены. Базовые теоретические основы проекта приняты научным сообществом.

The project tasks are divided into three Work Packages (WP), which are linked to each other by a common methodology. A detailed description of the work packages is presented below. The novelty of the proposed methodology in the project lies in:

- combining and complementing the results of theoretical modeling and data analysis (WP1.1, WP1.2, WP3.2);
- effective use of the results obtained in the physics of the Earth's magnetosphere (WP3.3);
- a systematic approach, which assumes the accumulation and systematization of observational information obtained by various instruments in different bands, in the form of a single catalogue of events (WP1.3, WP2.1, WP3.1);
- the use of advanced data analysis techniques specially designed for the study of signals that are transient, non-linear and multimodal (WP1.3, WP3.1);
- the use of unique multi-wavelength spatially resolved radio observations of the Sun, carried out at the SRH (WP3.1).

Analytical models will be developed based on standard methods for describing MHD waves in plasma waveguides, which are intensively used by our team (for example, Nakariakov et al. 2016). An evolutionary Burgers-type equation for weakly nonlinear oblique slow waves guided by a smooth transverse plasma inhomogeneity will be obtained in the framework of the asymptotic formalism developed in (Nakariakov et al. 1997) for fast waves. The nonlinear evolution of standing slow waves will be described by combining the obtained Burgers-type equation with the formalism developed by Ruderman (2013).

A novel element of this project is the effective sharing of knowledge about the solar corona and the Earth's magnetosphere, following the guidelines formulated in the review (Nakariakov et al. 2016). This approach will allow one to go beyond the ZSER model in theoretical modelling of MHD waves in the corona. We adapt and use magnetospheric models of slow magnetosonic waves in the bent magnetic slab (corrugation modes) and flapping oscillations in the macroscopic current sheet. Previously, analytical solutions were obtained for unstable flapping waves within weak and strong magnetic shear for short and long wavelengths (Artemyev & Zimovets, 2012) in incompressible MHD for an elongated quasi-vertical current sheet in the corona. It has been shown that the guiding magnetic field has a stabilizing effect on flapping oscillations. The contribution of the guiding field to unstable flapping waves in the current sheet of the Earth's magnetic tail was investigated both analytically and numerically using linearized 2D and nonlinear 3D MHD modelling (Korovinsky et al., 2015). The following important properties of flapping waves were established: stabilization for short-wave modes, the appearance of a typical (fastest-growing) wavelength of the order of the width of the current sheet, a decrease in the maximum growth rate with an increase in the driving field, and complete attenuation for values of the driving field more than half of the magnetotail lobe field.

An important element of seismology is the forward modelling (FM), that is, the creation of synthetic observations showing how different oscillatory modes should look in the data of different observational instruments. Input data for such a calculation can be obtained from numerical MHD modelling or constructed based on analytical models. A popular tool for forward modelling is the FoMo code (Van Doorselaere et al. 2016), which will be adapted for the project needs. This code has been applied to simulate slow mode oscillations in hot loops (Yuan et al. 2015, Mandal et al. 2016). Shi et al. (2019) did forward modelling of the modulation of coronal radiation by sausage oscillations taking into account the effects of non-equilibrium ionization. The GX_Simulator package (Nita et al. 2015, 2018), which was used to simulate the observational manifestations of sausage oscillations in microwave radiation (Kuznetsov et al. 2015), is a similar tool for forward modelling of the radio emission (in particular, in microwave band); see Figure 1 in the supplementary file attached to the proposal. The project participants (A.A. Kuznetsov and S.A. Anfinogentov) are involved in the development of this package and will adapt it to the project's objectives.

Estimation of the magnetic field twist from observed MHD oscillations, as well as other tasks of the project aimed to reveal the characteristics of the plasma of solar active regions, are problems of inferring model parameters that give the best agreement between theoretical predictions and observational data. Traditionally, such problems are solved by fitting free parameters of the model, so that its predictions are as close as possible to the observational data. Most often, various variations of the least-squares method are used for this purpose. In the case of a large number of parameters and complex models, the solution to this problem becomes nontrivial. To obtain reliable physical information, it is not enough to estimate only the most probable values of the parameters, but it is also necessary to determine the confidence intervals and identify the relationships between the model parameters. Also, it is important to correctly compare several alternative models that take into account different physical effects. All of these problems are successfully solved using Bayesian analysis in

combination with the Markov Chain Monte-Carlo (MCMC) method. The model can be defined both by a simple analytical expression or by complex numerical modelling, including the forward modelling. The MCMC method samples the multivariate posterior probability distribution of model parameters, makes histograms for each parameter, and then estimates the most probable values and associated credible intervals. The latter can be asymmetric and remain correct even for multimode distributions. Explicit or implicit relationships between model parameters are identified and visualized using two-dimensional histograms. Also, competing models are evaluated using the Bayes factor, and not only the best approximations are compared, but the models as a whole. In the project, we will use the MCMC code (<https://github.com/Sergey-Anfinogentov/SoBAT>) developed by the project team member S.A. Anfinogentov. The code has been successfully applied to the seismological analysis of decaying kink oscillations of coronal loops and to infer the transverse density profile of coronal loops from the observed intensity profile of EUV emission (Pascoe et al. 2017, 2018). Figure 2 in the supplementary file demonstrates the results of Bayesian inference of the density contrast and inhomogeneity layer width of an oscillating coronal loop.

When studying MHD oscillations in coronal loops and quasi-periodic pulsations (QPP) of flaring emission, special attention will be paid to potentially multimodal oscillatory signals, non-stationary oscillations and pulsations, whose parameters are changing over time (for example, Nakariakov et al. 2019). We will use a new methodology developed in a joint project of the Russian Foundation for Basic Research and the International Project of the Royal Society, conducted by E.G. Kupriyanova. in 2018-2019. The technique consists of a unique combination of standard methods (Fourier periodogram, wavelet) with the Empirical Mode Decomposition (EMD) technique. Unlike standard methods, EMD does not use time series decomposition in terms of predefined periodic basis functions. The EMD method analyzes the time scales of the time series itself, highlighting intrinsic time scales in an internal empirical fashion. By the iteration method, modes of different time scales are distinguished, from a low-frequency trend to high-frequency noise. Each of the modes represents a non-stationary and anharmonic oscillatory signal. For this reason, the EMD method is best suited for the analysis of non-stationary oscillations (for example, Kolotkov et al., 2018a,b). Confidence levels of the detection in the presence of a trend and coloured noise can be estimated using the original method developed in (Kolotkov et al. 2016a).

In the radio band, the archive data of the Nobeyama radioheliograph (NoRH) will be used. The project team have extensive experience in using NoRH data, including membership in the International Consortium for the Continued Operation of NoRH and regularly serving as the NoRH Chief Observers. Also, data from the Owens Valley Solar Array (EOVSA) radio telescope and the new Siberian Radioheliograph (SRH; Altynsev et al. 2020), an instrument for obtaining images of the Sun in the microwave band (in intensity and circular polarization) with a high temporal resolution at many frequencies, will be used. SRH is currently under construction at the Radioastrophysical Observatory of ISTP SB RAS. Since 2016, regular observations have been carried out on the 48-antenna prototype of the SRH (Lesovoy et al. 2017) at 32 frequencies in the 4-8 GHz range. The full version of the SRH will consist of three independent antenna arrays operating in the 3-6, 6-12 and 12-24 GHz frequency bands, which will provide high spatial (7-30", depending on the frequency) and temporal (0.1-1 s) resolution. In 2020, it is planned to start regular observations at 3-6 GHz, and then antenna arrays at 12-24 and 6-12 GHz will be commissioned. An example of multiwavelength radiomaps obtained by the operating prototype of SRH is shown in Figure 3 in the supplementary file. After the termination of observations on the Nobeyama radioheliograph on March 31, 2020, the SRH and EOVSA became the only solar dedicated radio telescopes in the world, which obtain regular two-dimensional radio images of the Sun in the microwave band, and the data of which are in the public domain. The data from these instruments will be used to analyze events that occurred after March 31, 2020. Multifrequency observations make the SRH a unique solar instrument for the proposed project, allowing combined space-spectral-time resolution of solar flares and the oscillations arising in them. Project team members are directly involved in the work on the SRH. Other instruments of the ISTP SB RAS Radioastrophysical Observatory that will be used in the project are multichannel spectropolarimeters providing dynamic spectra of solar microwave radiation (with a resolution of 10 ms at 26 frequencies in the 4-8 GHz band and with a resolution of 1 s at 16 frequencies at 2-24 GHz).

The set of observational data that will be used in the analysis of different MHD modes depends on the mode type. Since the sausage mode has a short characteristic time scale (period), of less than several tens of seconds, the tools providing the highest temporal resolution will be used to search for such oscillations. In particular, in the microwave band, we will use NoRH, SRH and broadband spectropolarimeters (open access). In the X-ray range, data from the Reuven Ramaty High Energy Solar Spectroscopic Imager (RHESSI) and Konus/WIND, which are also publicly available, will be used. However, since the temporal resolution of RHESSI is worse than that of microwave instruments, the RHESSI data will only be used for the analysis of periods longer than 15 s. The temporal resolution of the Konus/WIND data reaches 2 ms in trigger mode and allows us to study short-period sausage oscillations. However, this instrument, unlike RHESSI, does not provide spatial information,

registering only the integral flux of X-ray radiation from the Sun. Spatial localization of the QPP in different wavelength bands will be carried out using instruments with spatial resolution: SRH (4-8 GHz, with an extension of the band during the project), Expanded Owens Valley Solar Array (EOVSA, 1-18 GHz), NoRH (17 and 34 GHz, historical data), RHESSI (3–300 keV, historical data), Atmospheric Imaging Assembly (AIA) on board SDO, and SDO/HMI. The combination of these instruments also provides high spectral resolution, which is important for reconstructing the energy spectra of radiation and, thus, allows the identification of the radiation mechanism and QPP generation mechanisms (the full variety of the QPP generation mechanisms is presented in Figure 4 in the supplementary file). Analysis of the spectra makes it possible to estimate the parameters of the populations of thermal plasma and nonthermal electrons, as well as their evolution during the flare. Slow modes have longer characteristic periods (on the order of several minutes), therefore, maximum temporal resolution is not required, but high spatial resolution is needed. Therefore, we will use the data in the UV and EUV bands obtained using SDOAIA. The project team has extensive experience in using open-access data obtained with RHESSI and SDO / AIA (where V. M. Nakariakov is Associate Investigator), as well as SDO/HMI observations. A detailed study of the QPP parameters in each specific range will be carried out independently on their possible relationships, including the QPP in broadband signals.

Information on the magnetic field and energy release of the flare in the photosphere will be obtained using SDO / HMI data with an angular resolution of 1 arcsecond. Along with the standard 45-s magnetograms (in projection onto the line of sight), we will use HMI vector magnetograms with high temporal resolution (90 s and 135 s), which have recently appeared in the public domain (Sun et al., 2017) and have not yet widely used by the research community.

The theory of unstable flapping waves will be applied to solar two-ribbon flares using systematic measurements of the magnitude of the magnetic shear in cases of “zipping” propagation of paired sources of HXR along the neutral line. We will use the observation catalogue (Kuznetsov et al., 2016) and modelling (Zimovets et al., 2018) as a starting point. The next step is the numerical simulation of the development of unstable flapping oscillations in vertical 3D current sheets in the corona under physical conditions suitable for two-ribbon flares. Numerical modelling of the equations of compressible MHD for coronal current sheets will be performed. Various current sheet configurations will be modelled. As the first step, the development of spatially localized perturbations of current sheets with the geometry described in (Artemyev & Zimovets, 2012) will be considered. As a second step, 3D modelling of the evolution of flapping oscillations in a 2.5D current sheet below the eruptive filament will be performed (Zhao et al., 2017, 2019). As a third step, the evolution of current sheets with initial conditions different from those used in (Zhao et al., 2017, 2019) will be studied, in particular, inhomogeneities along the neutral line of the magnetic field will be taken into account. Special attention will be paid to a parametric study of the instability of flapping oscillations depending on the magnetic shear.

The project consists of three separate Work Packages (WPs) that are linked together by a common methodology. Each WP has a leader who will control activities and report to the project PI.

WP1: Sausage oscillations of flare loops. Leader: E.G. Kupriyanova.

WP1.1 Theoretical modelling of sausage oscillations in short hot-plasma flare loops, taking into account effects of variable loop cross-section, loop magnetic field twist and loop curvature. Numerical simulations of the evolution of a locally axisymmetric disturbance in a loop, which is modelled as a magnetic tube filled with dense plasma, in a dipole magnetic field. A near-critical twist of the magnetic field will be introduced by rotation of one of the loop footpoints. A parametric study of the dependence of the periods of different spatial harmonics of sausage oscillations on the degree of twist, obtaining empirical formulas for these dependencies, for example, in the form of a polynomial.

WP1.2 Based on the results of WP1.1, forward modelling of manifestations of different spatial harmonics of sausage oscillations using images obtained with different instruments (RHESSI, NoRH and SRH) in both optically thin and optically thick regimes, taking into account different distributions of nonthermal electrons by energy, pitch angle and plasma volume.

WP1.3. (a) Search for characteristic features of sausage oscillations in NoRH and RHESSI data (archive data), SRH and Konus/WIND (archive data and new observations), using existing QPP catalogues, paying attention both to anharmonic oscillations as a possible signature of multimode oscillations and to flares in active regions with already estimated strong currents. (b) Analysis of multimode events. (c) Interpretation in terms of theoretical estimations from WP1.1 and WP1.2. Defining the magnetic field twist in oscillating loops using Bayesian MCMC analysis based on WP1.1 results, compared with previous estimates of the twist where applicable.

Work on the WP1 program will allow obtaining the following new results: theoretical dependence of the parameters of sausage oscillations on both the magnetic field twist and the curvature of the oscillating loop; new seismological methods for evaluating twist in expanding loops; an estimation of the twist and its possible evolution during the flare.

WP2: Slow magnetoacoustic oscillations of loops. Leader: R.A. Sych

WP2.1 A comprehensive search for sloshing and standing slow MHD oscillations in coronal loops using SDO/AIA data. For sloshing oscillations, analysis of parameters for different spatial harmonics. (a) Creation of an event catalogue (starting with AIA data using Helioviewer and Heliophysics Events Knowledgebase), combined with a list of already described events summarized in (Nakariakov et al., 2019). (b) Finding relationships between parameters of the oscillations with the loop parameters, expanding the list of events (Nakariakov et al., 2019) by including sloshing oscillations. Studying the difference between standing and sloshing oscillations.

WP2.2 Development of a 2D model of standing and sloshing slow magnetoacoustic oscillations in a coronal loop, modelled as a straight plasma cylinder, elongated along the magnetic field, with a smooth equilibrium cross-section profile of a slab/cylinder. (a) Theoretical estimations of the effect of the angle between the wave vector and the axis of the loop on the wave parameters, in the linear approximation. (b) Revealing the relationships between the oscillation parameters (periods and amplitudes of different spatial modes) and the waveguide parameters (profile steepness, plasma β).

WP2.3 MHD numerical simulations of both standing and sloshing slow MHD oscillations using the loop model obtained in WP1.1. (a) Estimation of the effect of both the curvature and twist of the magnetic field on slow oscillations in the case of a finite plasma β . Finding the relationships between parameters of the oscillations and the loop parameters. (b) Forward modelling of manifestations of both standing and sloshing slow oscillations in different AIA channels and in microwave emission. Development of an MHD-seismological method for estimation of the transverse density and temperature profiles in an oscillating loop.

As a result of the WP2, the following new results will be obtained: an improved model of slow magnetoacoustic oscillations in a coronal loop, taking into account the transverse structure of the loop, the magnetic twist and the curvature of the loop; new MHD seismological methods for studying the transverse structure of loops; determination of temperature and density inhomogeneities of coronal loops and their dependence on the mentioned loop parameters.

WP3: Quasi-periodic processes in two-ribbon flares. Leader: A.A. Kuznetsov

WP3.1. Analysis of the movement of sources of flare energy release along the neutral line in two-ribbon flares based on data obtained using the NoRH and SRH and attracting SDO/AIA and SDO/HMI data as contextual tools. (a) Determination of the dependence of the speed of movement on the parameters of the arcade, especially on the magnetic shear of the arcade, and on the stage of development of the arcade. Comparison with the WP3.3a results. (b) Search for QPPs at the arcade footpoints and, if found, search for QPPs at the arcade top, and their spatiotemporal analysis. Estimation of the time delay between QPPs both observed in different spectral bands and found the emission measure and temperature time profiles, study of the relationships between the dynamics of the flare ribbons, which are the footpoints of the arcade, (in UV radiation) and sources of the hard X-ray emission. Studying the temporal relationship between the appearance of solar flare ribbons and the beginning of the movement of X-ray sources (delay/simultaneity/leading); estimating the physical parameters of arcades and motions of the sources, which can be used for comparison with the results of simulation for its verification.

WP3.2 Theoretical modelling of slow waves propagating in a flare arcade with reflection at the foot along the neutral line and playing the role of a trigger initiating magnetic reconnection (development of the model of Nakariakov and Zimovets, 2011). (a) Revealing the properties of slow waves in arcades modelled as a semicylindrical plasma slab smoothly inhomogeneous in the radial direction, in particular, the dependence of the group speed on the arcade parameters. (b) Comparison of the obtained theoretical results with the observational results presented in (Bogachev et al. 2005, Li & Zhang 2009, Reznikova et al. (2010), Kuznetsov et al. 2016). (c) Study of the characteristic behaviour of the both temperature and emission measure of the emitting plasma in the arcade and their relationship with each other, for a group of flares in which QPPs are observed in the decay phase according to data in the soft X-rays. (d) Development of a methodology to distinguish between the slow wave mechanism and the zipping/whipping reconnection mechanism.

WP3.3 Study of the evolution of flare and postflare arcades as a result of a sausage mode of flapping oscillations propagating in a macroscopic coronal current sheet with a guide magnetic field. (a) Extension of the analytical model (Artemyev & Zimovets, 2012) to the previously unconsidered ranges of parameters and revision of observations by Reva et al. (2015), Kuznetsov et al. (2016) and Zimovets et al. (2018). (b) 3D modelling of the flapping waves in more complex and realistic models of the coronal current sheets (for example, Zhao et al. 2017, 2019), and their modifications, including accounting for the presence of inhomogeneities along the neutral line. Determination of the range of physical characteristics of the current sheet (thickness, plasma density, values of the magnetic field components), for which the phase and group velocities and wavelengths of flapping oscillations lie in the ranges accessible to observations. (c) Based on the both analysis of observations (presented in WP3.1) and modelling, development of an MHD seismological method for diagnosing the reconnecting current sheets in powerful two-ribbon flares.

The WP3 research will provide the following new results: model of the slow wave propagation in an inhomogeneous magnetic arcade along the neutral line; model of the flapping oscillations in the 3D coronal current sheets with

inhomogeneities along the neutral line, typical for flare regions on the Sun; estimation of the principal physical parameters that determine the speed of propagation of the flare energy release along the neutral line and, consequently, the power of the flare; seismological method for diagnostics of reconnecting current sheets in powerful two-ribbon flares.

General work plan for the entire duration of the project

1 year

1) Study of sausage oscillations in flare loops. Includes:

a) Theoretical study of the dependence of the periods of oscillation of different spatial harmonics of sausage oscillations depending on the magnetic twist based on model simulations. Study of the mutual dependence of the parameters of the sausage oscillations and the torsion of the oscillating loop.

b) Forward modelling of the manifestations of different spatial harmonics of sausage oscillations in the multi-wavelength observations, including optically thin and optically thick regimes, and considering different distributions of accelerated electrons over both pitch angle and energy.

c) Search for characteristic signatures of sausage oscillations in the multi-wavelength data. Special attention will be paid to events with anharmonic oscillatory signals, since anharmonicity of the signal is a possible indicator of multimode oscillations. First of all, we will consider flares in active regions where, according to estimates, strong currents existed. The analysis of the results will be carried out, and, based on them, the existing catalogues will be supplemented.

2) Study of both sloshing and standing slow oscillations in coronal loops. Includes:

a) Comprehensive search for sloshing and standing slow oscillations in coronal loops using SDO/AIA data. Creation of a catalogue of events with sloshing and standing slow oscillations, its combination with the list of events described in Nakariakov et al. (2019).

b) For sloshing oscillations, analysis of the parameters of their different spatial harmonics.

3) Study of slow waves propagating in the flare arcade along the neutral line and triggering the magnetic reconnection (development of the model by Nakariakov & Zimovets, 2011). Includes:

a) Analytical calculations in terms of a simplified model, numerical full-MHD simulations. Revealing the properties of slow waves in radially inhomogeneous arcades. Determination of the dependence of the group speed on the parameters of the arcade.

b) Comparison of the obtained theoretical results with the results obtained in the observational works of Bogachev et al. (2005), Li & Zhang (2009), Reznikova et al. (2010), Kuznetsov et al. (2016).

c) Development of a methodology allowing to distinguish the mechanism based on slow waves in arcades from the mechanism of zipping/whipping reconnection.

4) Prepare 5 papers and submit them to peer-reviewed scientific journals with a high impact factor. Presentation of the results of the first year of the project at domestic and international conferences.

5) Creation of the project website.

Year 2

1) Interpretation of sausage oscillations in twisted flaring loops based on theoretical estimations obtained during the first year. Determination of the magnetic twist in oscillating loops using Bayesian and MCMC analysis, comparison with previous estimations of the twist.

2) Study of standing and sloshing slow MHD oscillations in flaring loops. It includes:

a) Continuing the search for events with sloshing and standing oscillations. Determination of the relationship between the parameters of the sloshing and standing slow MHD oscillations with the parameters of the loops. Exploring the difference between standing and sloshing oscillations.

b) Extending the catalogue (Nakariakov et al., 2019) with the events of sloshing oscillations. Publishing the catalogue on the project website.

c) Development of a two-dimensional model of standing and sloshing slow magnetoacoustic oscillations in a coronal loop with a smooth equilibrium transverse profile of the slab/cylinder. Analytical estimations of the influence of the angle between the wave vector and the cylinder axis on the parameters of the waves, in a linear regime. Revealing the relationships between the oscillation parameters (periods and amplitudes of different spatial harmonics) and the waveguide parameters (profile steepness, plasma β).

3) Study of flare arcades manifesting progression of the flaring energy release sources along the magnetic neutral lines. It includes:

a) Analysis of progression of the flaring energy release sources along neutral lines of two-ribbon flares using the data obtained with RHESSI, NoRH and SRH, SDO/AIA and SDO/HMI.

- b) Determination of the dependence of the progression speed on the parameters of the arcade, such as the magnetic shear, and the stage of the arcade development.
- c) Search for QPP at the footpoints and at the top of the arcade, their spatio-temporal analysis.
- 4) Preparation and publication of 6 research papers in peer-reviewed high-impact scientific journals. Presentation of the results of the second year of the project at national and international conferences and their publication on the project website.

Year 3

- 1) Study of standing and sloshing oscillations in flaring loops. It includes:
 - a) Performing a 3D numerical simulation of oscillations for the loop model designed during the first year of the project. Estimation of the impact of the magnetic field curvature and twist on slow oscillations in a finite plasma-beta regime. Determination of the relationship between parameters of the oscillations and the loop.
 - b) Forward modelling of standing and sloshing slow oscillations in various channels of SDO/AIA and radioheliographs.
 - c) Development of an MHD-seismological method for assessing the transverse density and temperature profiles in an oscillating loop.
- 2) Continuing the study of two-ribbon flares manifesting progression of the flaring energy release sources along the neutral line. It includes:

Search for QPP at the footpoints and at the top of the arcade, their spatio-temporal analysis. Investigation of the relationship between the dynamics of the arcade UV ribbons and sources of HXR emission. Revealing the correlation between the appearing of ribbons and “zipping” motions of HXR sources.
- 3) Study of oscillatory processes in flaring and post-flaring arcades. It includes:
 - a) Modelling the development of flaring and post-flaring arcades as a result of the sausage mode of unstable flapping oscillations propagating in a macroscopic coronal current sheet with a guiding magnetic field.
 - b) Determination of the range of physical parameters of the current sheet (thickness, plasma density, values of the magnetic field components), for which the phase and group speeds and wavelength of flapping oscillations are available for observations.
 - c) Development of an MHD-seismological method for diagnostics of reconnecting current sheets in powerful two-ribbon flares based on the analysis of observations and modeling of flare arcades, carried out in the project.
 - 4) Preparation and publication of 5 research papers in peer-reviewed high-impact scientific journals. Presentation of the results of the third year of the project at national and international conferences and on the project website.

Specific expected results (by year):

Year 1

- 1) The empirical relationship between the parameters of sausage oscillations and the magnetic twist of the oscillating loop.
- 2) Characteristics of higher spatial harmonics of sausage modes in flaring regions.
- 3) Project website.
- 4) A catalogue of events of sloshing and standing slow oscillations, its combination with the existing list of events summarized in Nakariakov et al. (2019). Publication of the catalogue on the project site.
- 5) Properties of slow waves propagating in a radially inhomogeneous flaring arcade. Dependence of the group speed on the parameters of the arcade.
- 6) Revealing a quasi-periodic behaviour of the temperature and the emission measure of the emitting plasma of several flaring arcades.
- 7) A technique allowing for distinguishing between the mechanisms for energy releases based on slow waves in arcades and on zipping/whipping reconnection.
- 8) Preparation and submission of 5 research papers in peer-reviewed high-impact scientific journals. Presentation of the results of the first year of the project at national and international conferences.

Year 2

- 1) Estimation of the parameters of the magnetic twist and its apparent evolution during a flare.
- 2) Revealed tendencies in the dependence between the parameters of the sloshing and standing slow MHD oscillations and the parameters of the loops. Determination of the difference between standing and sloshing oscillations.
- 3) Extended catalogue of events including sloshing and standing oscillations. Publication of the catalogue on the project website.
- 4) An advanced model of slow magnetoacoustic oscillations in a coronal loop, taking into account the transverse structure of

the plasma in the magnetic loop, the twist of the magnetic loop, and the curvature of the loop.

5) New seismological methods for studying the transverse structuring of plasma in a loop.

6) A tested technique for distinguishing between the energy release mechanisms based on slow waves in arcades and on the zipping/whipping reconnection.

7) Characteristic properties of progression of sources along the neutral line in two-ribbon flares. The dependence of the speed of progression on the parameters of the arcade. Estimations of the speed of flare propagation along the neutral line and, hence, of the flare power.

8) Preparation and publication of 6 research papers in peer-reviewed high-impact scientific journals. Presentation of the results of the second year of the project at national and international conferences and their publication on the project website.

Year 3

1) Assessment of the effect of the curvature and twist of the magnetic field on slow oscillations in a finite plasma-beta regime. Determined relationships between the parameters of oscillations and the loop.

2) A novel MHD-seismological method for estimating the transverse density and temperature profiles in an oscillating loop.

3) Estimations of the time delays between QPP observed in different bands of the electromagnetic spectrum, as well as in variations of the emission measure and temperature.

4) Correlations between the dynamics of the arcade UV ribbons and sources of HXR emission, induced by “zipping” motions.

5) A model of the development of flaring and post-flaring arcades, caused by sausage oscillations propagating in a macroscopic coronal current sheet in a guiding magnetic field.

6) Determined range of physical parameters of the current sheet (thickness, plasma density, values of the magnetic field components), for which the phase and group speeds and the wavelength of flapping oscillations are available for observations.

7) MHD-seismological method for diagnostics of reconnecting current sheets in powerful two-ribbon flares.

8) Preparation and publication of 5 research papers in peer-reviewed high-impact scientific journals. Presentation of the results of the second year of the project at national and international conferences and on the project website.

The project will be coordinated by the PI, V.M. Nakariakov. Responding to the current Covid-19 pandemic conditions, a significant part of the project management will be carried out online, taking into account the vast experience gained by our team during 2020. MS Teams or Zoom meetings will be held every two weeks to monitor the progress of the project in general and to identify and fix any issues affecting the work. Every month, the project PI, WP leaders and key participants will have telecons (MS Teams or Zoom), monitoring and coordinating the progress in individual WPs. In parallel, WP leaders will run at least monthly telecons with all participants involved in their WP. Every month, the project team will run a research webinar, with the presentations of the team members (preferably, early-career researchers) on their recent research achievements in frames of the project, and also on the project-related progress made by competing groups (based on publications, conference presentations and private communications). Before submitting to a journal, every new research paper presenting the results obtained in the framework of the project will be comprehensively discussed and tested at this webinar. Collaboration of the individual project participants, provided they work in self-isolation, remotely or at different institutions, will be carried out using e-mail and MS Teams or Zoom, as well as using cloud data storage.

The project results will be disseminated in the usual way via research publications in scientific journals (at least 16 research papers in refereed scientific journals indexed by the Web of Science and Scopus) and presentations at research conferences, and also by public lectures and articles in general science magazines.

Risks associated with the project are considered as low. We shall use well-tested numerical codes for simulations and forward modeling, well-understood data analysis techniques, and reliable analytical methods. The project team are competent in all aspects of the project. The necessary data are either in open access or available via the direct involvement of the project members in science teams of required instruments. The natural phenomena of interest are well resolved and explored in some case studies. The basic theoretical background of the project is well accepted by the research community.

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

Проект основан на взаимодополняемости опыта и знаний участников проекта (анализ данных, аналитическая теория, доступ к оригинальному наблюдательному материалу, численное моделирование), а также на имеющихся научных

связях и совместном заделе отдельных участников коллектива.

Участники проекта имеют большой опыт в анализе наблюдательных данных, как наземных инструментов, так и данных космических обсерваторий, и их интерпретации. Ими проведено статистическое исследование пространственно-временной динамики источников пульсаций в солнечных вспышках по наблюдениям в жестком рентгеновском диапазоне (Kuznetsov et al. 2016) и определена магнитная структура вспышечных областей, генерировавших эти пульсации (Zimovets et al. 2018); обнаружена квазипериодическая модуляция излучения солнечной вспышки от жесткого рентгеновского до метрового диапазона (Kurpianova et al. 2016). Также были получены доказательства возможности интерпретировать микроволновые субсекундные пульсации как проявления повторяющегося магнитного пересоединения (Mészárosová et al. 2016). На основе одновременных наблюдений в рентгеновском, КУФ и микроволновом диапазонах был впервые непосредственно подтвержден стохастический механизм ускорения частиц в солнечных вспышках (Kontar et al. 2017a). Были детально исследованы тонкие спектральные структуры в солнечном радиоизлучении метрового диапазона; показано, что наблюдаемые характеристики источников излучения в значительной мере определяются рассеянием радиоволн на плазменных неоднородностях в короне (Kontar et al. 2017b; Kuznetsov & Kontar 2019; Kuznetsov et al. 2020).

В ходе реализации проекта будет использован программный код (<https://github.com/Sergey-Anfinogentov/SoBAT>), сочетающий методы байесовской статистики с методом Монте-Карло по схеме Марковской цепи (MCMC), разработанный исполнителем проекта Анфиногентовым С.А. в сотрудничестве с исследователями из Университета Левен (Бельгия). Код был успешно применен для сейсмологического анализа затухающих изгибных осцилляций корональных петель и для определения профиля поперечной плотности корональных петель из наблюдаемого профиля интенсивности КУФ излучения (Pascoe et al. 2017, 2018). Для моделирования отклика солнечного радио- и микроволнового излучения на МГД колебания будут использованы разработанные при участии исполнителей проекта программные коды для эффективного расчета гиросинхротронного, гирорезонансного и тормозного излучения (Fleishman & Kuznetsov 2010, 2014) и система для трехмерного моделирования GX Simulator (Nita et al. 2015, 2018); данный подход был ранее применен для упрощенных моделей колеблющихся вспышечных петель (Reznikova et al. 2014, 2015; Kuznetsov et al. 2015).

Руководитель проекта, В.М. Накаряков, является одним из международно признанных создателей метода МГД сейсмологии и лидеров данного научного направления. В 2015 году В.М. Накаряков был награжден медалью и премией Пейн-Гапошкиной британского Института Физики. Им разработана и впервые применена сейсмологическая диагностика величины магнитного поля в петлях короны Солнца (Nakariakov & Ofman 2001) по изгибным колебаниям. В последующие двадцать лет под его руководством и с активным участием участников проекта был достигнут впечатляющий прогресс в улучшении данного метода (Pascoe et al. 2017, 2018), созданы каталоги событий и проведена их статистическая обработка (Zimovets & Nakariakov 2015, Goddard & Nakariakov 2016, Goddard et al. 2016, Nechaeva et al. 2019), и разработаны теоретические модели незатухающего режима (Nakariakov et al. 2016, Afanasyev et al. 2020). Наиболее близкими к теме проекта являются недавние работы Накарякова по теоретическому моделированию сосисочных колебаний (Pascoe & Nakariakov 2016, Lim et al. 2018, 2020), статистическим свойствам ММЗ (Nakariakov et al. 2019), установление связи модуляции линий зебра-структур с сосисочными колебаниями (Yu et al. 2016), первая модель инициации развития двухленточной вспышки ММЗ (Nakariakov & Zimovets 2011), демонстрация эффекта теплового дисбаланса на ММЗ (Nakariakov et al., 2017), создание модели гофрированной неустойчивости в плазменной аркаде (Klimushkin et al. 2017).

Недавние результаты Д.Ю. Колоткова включают новую аналитическую модель для образования и затухания квазипериодических МГД-волн из-за дисбаланса процессов нагрева и охлаждения в плазме (Kolotkov et al. 2019; Zavershinskii et al. 2019); первая количественно подтвержденная связь квазипериодической тонкой структуры радиовсплеска III типа с МГД-волнами и МГД-сейсмологией в средней короне (Kolotkov et al. 2018a); обнаружение и интерпретация КПП в самой мощной солнечной вспышке в 24-м цикле и в звездных вспышках по МГД-колебаниям (Kolotkov et al. 2018b, Doyle et al. 2018); новая аналитическая модель для поперечных колебаний протуберанцев конечной амплитуды в провале магнитного поля (Kolotkov et al. 2016b, Kolotkov et al. 2018c); первое обнаружение нелинейных волн в области контакта земной магнитосферы и солнечного ветра (Hnat et al. 2016); новый метод оценки статистической значимости эмпирических мод, полученных с помощью метода EMD (Kolotkov et al. 2016a, Kolotkov et al. 2017).

Ранее участниками проекта был разработан метод обработки последовательности изображений, позволяющий

искусственно увеличить амплитуду поперечных движений контрастных объектов (Motion magnification). Показано, что метод позволяет успешно детектировать малоамплитудные изгибные колебания корональных петель (Anfinogentov & Nakariakov 2016). С помощью данного метода впервые выполнены оценки альфвеновской скорости в короне активной области по наблюдениям изгибных колебаний корональных петель в незатухающем режиме (Anfinogentov & Nakariakov 2019). Для обнаружения колебаний и их дальнейшего анализа применялся метод увеличения движений (Motion magnification), также установлены надёжные доверительные интервалы, благодаря применению Байесовского анализа и метода Монте-Карло по схеме Марковской цепи. Выполнены измерения контраста плотности и толщина переходного слоя между внутренней частью корональной петли и ее окружением с одновременным использованием данных корональной сейсмологии и анализом наблюдаемых профилей интенсивности (Pascoe et al. 2018). Впервые обнаружена вторая гармоника незатухающих изгибных колебаний в корональной петле (Duckenfield et al. 2018). Метод увеличения движения планируется использовать для детектирования и анализа периодических смещений корональных структур на пред- и поствспышечной стадиях эволюции активных областей.

У научного коллектива проекта наработан огромный опыт совместной реализации проектов. В частности, участники проекта успешно сотрудничали в руководимых Накаряковым международном сетевом проекте "Радиофизика Солнца" (FP7-PEOPLE 295272, 2012-2016), российско-британском проекте "Сейсмология активных областей короны Солнца по изгибным колебаниям" (British Council 277352569, 2017-2019), и "Нестационарные процессы в плазменных структурах короны Солнца" (ФЦП Кадры 2012-1.5-12-000-1011-005, 2012-2013); в международном проекте "Супервспышки на Солнце и звездах" (РФФИ-BRICS 17-52-80064, 2017-2019) под руководством А.А. Кузнецова; и российско-британском проекте "Нестационарные свойства квазипериодических пульсаций как основа диагностики механизмов вспышечного энерговыделения" (РФФИ - Лондонское Королевское Общество 17-52-10001, 2018-2019) под руководством Е.Г. Куприяновой.

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)

Научный коллектив имеет несколько персональных компьютеров и ноутбуков с доступом в сеть Интернет. На компьютерах установлено программное обеспечение (в частности, IDL, SolarSoftWare, MatLab, Python и др.), необходимое для моделирования и обработки наблюдательных данных. Доступ к электронным библиотекам научных журналов, необходимых для проекта, имеется с компьютеров из локальной вычислительной сети ИСЗФ СО РАН. В проекте будут использоваться наблюдательные данные основных солнечных обсерваторий космического (SDO, RHESSI, IRIS, GOES) и наземного базирования (EOVSA, RSTN, NoRP, а также архивные данные NoRH), архивы которых находятся в свободном доступе в сети Интернет. Доступ к инфраструктуре, оборудованию и архиву данных Сибирского Радиогелиографа, спектрополяриметров 4-8 ГГц и 2-24 ГГц для выполнения проекта будет осуществляться посредством Центра коллективного пользования "Солнечно-земная физика и контроль околоземного космического пространства", ЦКП "Ангара" на базе ИСЗФ СО РАН. МГД моделирование волновых процессов во вспышечных областях и МИО наблюдательных величин по данным AIA/SDO будут выполняться с помощью кодов LareXd и FoMo соответственно. Данное программное обеспечение находится в открытом доступе, а участники проекта имеют опыт его применения и научного сотрудничества с разработчиками этих кодов. Имеется разработанное при участии исполнителей проекта программное обеспечение для трехмерного моделирования излучения солнечных вспышек и активных областей в радио, рентгеновском и ультрафиолетовом диапазонах, а также для реконструкции (экстраполяции) коронального магнитного поля с использованием фотосферных векторных магнитограмм. Будет проведена адаптация этих кодов для использования в ИСЗФ СО РАН. Анализ наблюдательных данных и частично численные расчеты будут производиться на имеющихся в распоряжении участников проекта персональных компьютерах. Для детального численного МГД моделирования планируется приобрести отдельный вычислительный сервер, дисковая подсистема которого также будет использоваться для централизованного хранения наблюдательных данных и результатов моделирования.

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

на русском языке

В течение первого года проекта планируется выполнение следующих работ:

- 1) Теоретическое исследование зависимости периодов колебаний разных пространственных гармоник сосисочных колебаний в зависимости от скрученности магнитного поля на основе модельных расчетов. Определение взаимной зависимости параметров сосисочных колебаний и скрученности колеблющейся петли.

2) Проведение МИО на различные пространственные гармоники сосисочных колебаний для различных инструментов в различных диапазонах (RHESSI, NoRH, CPG) как в оптически тонком, так и в оптически толстом режимах, с различными распределениями ускоренных электронов по питч-углу и энергии. Визуализация результатов с учетом аппаратных особенностей инструментов. Анализ полученных результатов.

3) Поиск характерных признаков сосисочных колебаний по данным NoRH, CPG и RHESSI, используя существующие каталоги, уделяя особое внимание примерам ангармонических колебаний, как возможным индикаторам многомодовых колебаний, а также вспышкам в активных областях, где по оценкам существовали сильные токи. Проведение анализа событий с несколькими гармониками.

4) Выполнение комплексного поиска плещущихся и стоячих медленных колебаний в корональных петлях с использованием данных SDO / AIA. Для плещущихся колебаний проведение анализа отдельно параметров различных пространственных гармоник. Создание каталога событий, его комбинация со списком уже описанных событий, обобщенным в Nakariakov et al. (2019).

5) Исследование медленных волн, распространяющихся вдоль нейтральной линии во вспышечной аркаде и играющих роль триггера, инициирующего магнитное пересоединение вдоль нейтральной линии (развитие модели Nakariakov & Zimovets, 2011). Это будет включать: (а) Выявление свойств медленных волн в радиально-неоднородных аркадах. (б) Сравнение полученных результатов с результатами, полученными в работах Vogachev et al. (2005), Li & Zhang (2009), Reznikova et al. (2010), Kuznetsov et al. (2016). (в) Проведение исследований характерного поведения температуры и меры эмиссии излучающей плазмы аркады, а также их связи между собой, для группы вспышек, у которых наблюдаются КПП на фазе спада по данным в мягком рентгеновском диапазоне. (г) Разработку методики, позволяющей отличить механизм, основанный на медленных волнах, от механизма zipping/whipping пересоединения.

6) Подготовка и направление 5 статей в рецензируемые научные журналы с высоким импакт-фактором.

7) Создание веб-сайта проекта.

8) Планируется представление результатов первого года проекта на следующих конференциях: European Solar Physics Meeting (ESPM-16) (Турин, Италия, сентябрь 2021); "Магнетизм и активность Солнца, звезд и галактик - 2021" (Крымская астрофизическая обсерватория, август 2021); конференциях по физике плазмы Европейского Физического Общества (European Physical Society; Ситгес, Испания, 2021), Азиатско-Тихоокеанского Геофизического Общества (Asia-Oceania Geophysical Society) и Европейского Геофизического Общества (European Geophysical Society); рабочих совещаниях международных коллабораций "Waves and Instabilities in the Solar Atmosphere" и "Waves in the Lower Solar Atmosphere".

на английском языке

During the first year of the project, we plan to do the following:

1) Theoretical study of the dependence of the periods of oscillation of different spatial harmonics of sausage oscillations depending on the magnetic twist based on model simulations. Study of the mutual dependence of the parameters of the sausage oscillations and the magnetic twist in the oscillating loop.

2) Forward modelling of the manifestations of different spatial harmonics of sausage oscillations in multi-wavelength observations (with application to RHESSI, NoRH, SRH), including optically thin and optically thick regimes, and considering different distributions of accelerated electrons over both pitch angle and energy. Visualization of the modeling results, accounting for the instrumental response functions; analyzing the obtained results.

3) Search for characteristic signatures of sausage oscillations in the multi-wavelength data (NoRH, SRH, RHESSI), using the existing catalogues. Special attention will be paid to events with anharmonic oscillatory signals, since anharmonicity of the signal is a possible indicator of multimode oscillations. First of all, we will consider flares in active regions where, according to estimates, strong currents existed. The analysis of the multi-modal events will be carried out.

4) Comprehensive search for sloshing and standing slow oscillations in coronal loops using SDO/AIA data. Analyzing separate spatial harmonics (for the sloshing oscillations). Creation of a catalogue of events with sloshing and standing slow oscillations,

its combination with the list of events described in Nakariakov et al. (2019).

5) Study of slow waves propagating in the flare arcade along the neutral line and triggering the magnetic reconnection (development of the model by Nakariakov & Zimovets, 2011). Includes: a) Revealing the properties of slow waves in radially inhomogeneous arcades. b) Comparison of the obtained theoretical results with the results obtained in the observational works of Bogachev et al. (2005), Li & Zhang (2009), Reznikova et al. (2010), Kuznetsov et al. (2016). c) Studying the behaviour of the plasma temperature and emission measure as well as their mutual dependence in the arcades of flares with quasi-periodic pulsations in the decay phase, observed in soft X-rays. d) Development of a methodology allowing to distinguish between the mechanisms based on slow waves in arcades and on zipping/whipping reconnection.

6) Prepare 5 papers and submit them to peer-reviewed scientific journals with a high impact factor.

7) Creation of the project website.

8) We are going to present the results obtained in the first year of the project at such scientific conferences and meetings as: European Solar Physics Meeting (ESPM-16) (Torino, Italy, September 2021), "Magnetism and activity on the Sun, stars, and galaxies" (Crimean Astrophysical Observatory, August 2021), conferences on the plasma physics of the European Physical Society (Sitges, Spain, 2021), Asia-Oceania Geophysical Society and European Geophysical Society, and at the workshops of the international collaborations "Waves and Instabilities in the Solar Atmosphere" and "Waves in the Lower Solar Atmosphere".

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

Накаряков В.М.: руководство проектом; проведение исследования параметров зависимости периодов колебаний сосисочного типа в зависимости от магнитного скручивания на основе модельных расчетов; разработка методики, позволяющей отличить механизм распространения медленных волн по аркаде от механизма zipping/whipping; анализ и интерпретация полученных результатов.

Куприянова Е.Г.: исследование временных профилей различных параметров солнечных вспышек, полученных в результате обработки данных AIA/SDO, NoRH, CPG и RHESSI, методами Фурье и вейвлет-анализа; отбор событий и создание каталогов; анализ и интерпретация полученных результатов.

Кузнецов А.А.: адаптация кода FoMo для задач проекта, разработка программных кодов для моделирования микроволнового излучения во вспышечных петлях с МГД колебаниями, анализ наблюдений выбранных солнечных вспышек в микроволновом и рентгеновском диапазонах.

Сыч Р.А.: адаптация разработанных методов спектрального анализа данных (PWF и EMD) для исследования квазипериодических пульсаций в корональных структурах; отбор событий в нижней атмосфере Солнца для исследования связи эволюции медленных магнитозвуковых волн в пятенных областях и возникновении солнечных вспышек; исследование медленных волн, распространяющихся по выделенным волноводам как триггера магнитного пересоединения; анализ и интерпретация полученных результатов.

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

В результате выполнения плана первого года проекта будут получены следующие результаты:

Будет разработана численная модель равновесной скрученной магнитной трубки, помещенной в дипольное магнитное поле. Будет определено критическое значения скрученности (твиста); будут исследованы процессы инициации и развития различных пространственных гармоник колебаний сосисочного типа в захваченном и затухающем режимах. Будет получена оценка и анализ различий между результатами новой модели и результатами, которыми дает модель ZSER. Будет подготовлена к печати одна статья.

Будет проведен комплексный анализ четырех-шести конкретных событий с многомодовыми колебаниями сосисочного типа и определены параметры различных пространственных гармоник. На основе этих результатов будет подготовлена

к печати одна статья.

Будет создан каталог событий, в которых наблюдались стоячие и плещущиеся (sloshing) колебания. На примере событий из каталога будет проведено эмпирическое масштабирование параметров колебаний относительно параметров петли. На основе этих результатов будет подготовлена к печати статья.

Будет разработана теоретическая линейная модель медленных волн в плавно поперечно-неоднородном слое плазмы, и изучено влияние поперечного структурирования плазмы на волны данного типа. На основе полученных результатов будет подготовлена к печати статья.

Будут отобраны и детально проанализированы двухленточные солнечные вспышки, в которых область выделения энергии смещалась вдоль нейтральной линии, и этот процесс сопровождался квазипериодическими пульсациями, наблюдавшимися в спектральных диапазонах инструментов SDO/AIA и HMI и RHESSI / NoRH / CPG. Будет разработана теоретическая модель распространения медленных волн в аркаде, представляемой как половина радиально-неоднородной магнитной трубки. Будет получена новая информация о связи между групповой скоростью волны и параметрами такой аркады и проведено сравнение полученных результатов с наблюдениями, проанализированными в работах Bogachev et al. (2005), Li & Zhang (2009), Reznikova et al. (2010) и Kuznetsov et al. (2016). Будет подготовлена к печати одна статья.

на английском языке

By implementing the plan for the first year of the project, the following results will be obtained:

A numerical model will be developed for an equilibrium twisted magnetic tube placed in a dipolar magnetic field. The critical value of the twist will be determined; the processes of initiation and development of various spatial harmonics of sausage oscillations in trapped and leaky regimes will be investigated. Differences between the results of the new model and the ZSER model will be identified and analysed. One research paper will be prepared for publication.

A comprehensive analysis of four to six specific events with multi-modal sausage oscillations will be carried out and the parameters of various spatial harmonics will be determined. Based on these results, one research paper will be prepared for publication.

A catalogue of events, in which standing and sloshing oscillations were observed, will be created. Using events from the catalogue, the empirical scaling between the oscillation parameters and the loop parameters will be revealed. Based on these results, a research paper will be prepared for publication.

A theoretical linear model of slow waves in a plasma slab with a smooth transversely inhomogeneous profile will be developed, and the effect of transverse plasma structuring on waves of this type will be studied. Based on the results obtained, a research paper will be prepared for publication.

Two-ribbon solar flares will be selected and analyzed in detail, in which the energy release site drifts along the neutral line, and this process is accompanied by quasi-periodic pulsations observed in the spectral bands of the SDO/AIA and HMI, and RHESSI/NoRH/SRH instruments. A theoretical model of the propagation of slow waves in the arcade, represented by a radially inhomogeneous magnetic "half-pipe", will be developed. New information will be obtained on the relationship between the group speed of the wave and the parameters of such an arcade; the obtained results will be compared to the observational studies by Bogachev et al. (2005), Li & Zhang (2009), Reznikova et al. (2010), and Kuznetsov et al. (2016). One research paper will be prepared for publication.

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)

- 1) Два мощных системных блока и два монитора к ним для оборудования двух рабочих мест в ИСЗФ СО РАН для проведения работ по проекту (хранение и обработка данных, численные расчеты, подготовка публикаций и отчетов);
- 2) Вычислительный сервер для проведения численного МГД моделирования и централизованного хранения данных наблюдений и результатов моделирования

- 3) Два ноутбука для возможности проведения работ по проекту во время командировок;
- 4) Расходные материалы (картриджи для принтера, бумага, канцелярские товары) для распечатки научных публикаций по тематике проекта, записей и аналитических расчетов, а также для подготовки документов и отчетов по проекту;
- 5) Годовую лицензию средства Zoom для проведения групповых сеансов связи между членами коллектива в сети Интернет.

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 _____ /В.М. Накаряков/

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»)	3055
	Вознаграждение лиц категории «вспомогательный персонал» (с учетом страховых взносов во внебюджетные фонды)	0
1	Итого вознаграждение (с учетом страховых взносов во внебюджетные фонды)	3055
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.	1400
4	Расходы на приобретение материалов и комплектующих для проведения научного исследования	30
5	Иные расходы для целей выполнения проекта	915
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>Вознаграждение членов научного коллектива:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Накаряков В.М. (руководитель проекта): 350 тыс. руб.; 2. Кузнецов А.А. (основной исполнитель): 350 тыс. руб.; 3. Сыч Р.А. (основной исполнитель): 350 тыс. руб.; 4. Куприянова Е.Г. (основной исполнитель): 350 тыс. руб.; 5. Алтынцев А.Т. (исполнитель): 300 тыс. руб.; 6. Анфиногентов С.А. (исполнитель): 300 тыс. руб.; 7. Колотков Д.Ю. (исполнитель): 300 тыс. руб.; 8. Ларионова А.И. (исполнитель): 255 тыс. руб.; 9. Каракотов Р.Р. (исполнитель): 250 тыс. руб.; 10. Феденёв В.В. (исполнитель): 250 тыс. руб. <p>Итого: 3055 тыс. руб.</p> <p>Вознаграждение вспомогательного персонала: не предусмотрено.</p>
2	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)

Не предусмотрена

3 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))

Два персональных компьютера с мониторами для проведения работ по обработке наблюдений и численному моделированию: 200 тыс. руб.;

Два ноутбука для возможности проведения работ по проекту во время командировок: 200,0 тыс. руб.;

Сервер для проведения численного моделирования, хранения и обработки данных. Примерная конфигурация: процессор AMD Eріс (64 ядра, 128 потоков), 512 ГБ оперативной памяти, 2 ТБ NVME SSD с защитой от сбоя по питанию для гипервизора и системы, 6 x 10 ТБ HDD (5 - для создания отказоустойчивого массива и 1 резервный для горячей замены): 1000,0 тыс. руб.

Итого: 1400,0 тыс. руб.

4 Расходы на приобретение материалов и комплектующих для проведения научного исследования

(представляется расшифровка запланированных материалов и комплектующих (в соответствии с п. 4.12 формы 4))

Расходные материалы для оргтехники (бумага и картриджи для принтеров), канцелярские товары: 30 тыс. руб.

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)

Оплата публикации статей в ведущих рецензируемых научных журналах (ArJ, A&A): 300 тыс. руб.;

Оплата командировок для участия в российских и международных научных конференциях: 600 тыс. руб.

Оплата услуг связи (годовая лицензия Zoom для организации удаленных семинаров и совещаний): 15 тыс. руб.

Итого: 915 тыс. руб.

Подпись руководителя проекта _____/В.М. Накаряков/

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.