


Форма «Т». Титульный лист заявки в Российский научный фонд
Конкурс 2020 года «Проведение фундаментальных научных исследований и
поисковых научных исследований отдельными научными группами»

Название проекта Компактный черенковский детектор для исследования состава космических лучей сверхвысоких энергий.		Номер проекта <div style="text-align: center; font-weight: bold; font-size: 1.2em;">20-12-00177</div> 	
		Код типа проекта: ОНК(2020)	
		Отрасль знания: 02	
		Основной код классификатора: 02-104 Дополнительные коды классификатора: 02-705	
		Код ГРНТИ 29.05.45	
Фамилия, имя, отчество (при наличии) руководителя проекта: Чернов Дмитрий Валентинович		Контактные телефон и e-mail руководителя проекта: +79166372642, chr@dec1.sinp.msu.ru	
Полное и сокращенное наименование организации, через которую должно осуществляться финансирование проекта: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова" Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, МГУ имени М.В.Ломоносова, Московский университет или МГУ			
Объем финансирования проекта в 2020 г. 6000 тыс. руб.		Год начала проекта: 2020	
Год окончания проекта: 2022			
Фамилии, имена, отчества (при наличии) основных исполнителей (полностью)	Бонвеч Елена Алексеевна Галкин Владимир Игоревич Подгрудков Дмитрий Аркадьевич <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 _____/Д.В. Чернов/		Дата регистрации заявки 12.11.2019 г.	
Подпись руководителя организации* <i>* 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 расшивки подписи, является основанием недопуска заявки к конкурсу.</i>			
_____/_____/			
Печать (при наличии) организации			

Форма 1. Сведения о проекте

1.1. Название проекта

на русском языке

Компактный черенковский детектор для исследования состава космических лучей сверхвысоких энергий.

на английском языке

The compact Cherenkov detector for ultrahigh-energy cosmic-ray composition study.

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.

19. Технологии мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды, предотвращения и ликвидации ее загрязнения.

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)

Н6 Связанность территории Российской Федерации за счет создания интеллектуальных транспортных и телекоммуникационных систем, а также занятия и удержания лидерских позиций в создании международных транспортно-логистических систем, освоении и использовании космического и воздушного пространства, Мирового океана, Арктики и Антарктики

1.3. Ключевые слова (приводится не более 15 терминов)

на русском языке

космические лучи, черенковский свет, кремниевые фотоумножители

на английском языке

cosmic rays, Cherenkov light, SiPM

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

Область энергий 1-1000 ПэВ является переходной от галактических к внегалактическим космическим лучам. Более 50 лет назад в этой области было обнаружено изменение наклона энергетического спектра первичных космических лучей (ПКЛ) около 3 ПэВ. Но до сих пор обнаруживаются всё новые особенности в структуре спектра. В этой связи представляется интересным понять причину возникновения этих неоднородностей. Основной причиной, скорее всего, является изменения состава ПКЛ. Применяемые в настоящее время методы позволяют оценивать либо средний состав ПКЛ или же выделить «легкие» и «тяжелые» группы. В основном оценки делаются на данных восстановления глубины максимума развития широких атмосферных ливней (ШАЛ), используя методы моделирования возникновения и развития каскада. Из-за больших методических погрешностей наземных установок выделить группы можно только обработав большое количество экспериментальных данных.

Данный проект направлен на реализацию сравнительно новой методики изучения ПКЛ - регистрации оптического излучения Вавилова-Черенкова, чаще называемого «черенковским светом» ШАЛ (ЧС ШАЛ), отраженного от снежной поверхности. Задачей проекта является создания установки для исследования состава космических лучей в области 1-1000 ПэВ методом регистрации отраженного ЧС ШАЛ. В детекторе установки планируется использовать кремниевые фотоумножители, а для подъема измерительной аппаратуры над заснеженной поверхностью будет использован беспилотный летательный аппарат (БПЛА, дрон).

на английском языке

The 1-1000 PeV energy range is transitional from galactic to extragalactic cosmic rays. More than 50 years ago a change in the slope of the energy spectrum of primary cosmic rays (PCR) was detected at around 3 PeV. But until now new features in the structure of the spectrum are being discovered. In this regard it is interesting to understand the cause of these slope irregularities. The main reason, most likely, are changes in the mass composition of the PCR. Presently used methods allow to

estimate either the average mass of PCR particles or to divide them into "light" and "heavy" groups. Basically, estimates are made on the reconstructed depth of development maximum of the extensive air showers (EAS), using the the modeling of the shower development in the atmosphere. Since the methodological uncertainties of the reconstructed parameters mass groups can be identified only by processing a large amount of experimental data.

This project is aimed at implementing a relatively new method of studying the PCR - the registration of optical Vavilov-Cherenkov radiation, often called "Cherenkov light", from EAS (EAS CL), reflected from the snow surface. The objective of the project is to create an installation for the study of the cosmic rays mass composition in the energy region of 1-1000 PeV by registering the reflected EAS CL. Silicon photomultipliers are planned to be used in the detector of the installation, and an unmanned aerial vehicle (UAV, drone) will be used to lift the measuring equipment over the snow-covered surface.

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

В ходе выполнения Проекта будет создан уникальный прибор с использованием современных фотоприемников на основе кремниевых фотоумножителей (SiPM), который устанавливается на беспилотный летательный аппарат (БПЛА). Прибор позволит получать новые научные знания о химическом составе первичных космических лучей (ПКЛ) в области энергий 1-1000 ПэВ методом регистрации отраженного черенковского света (ЧС) широких атмосферных ливней (ШАЛ). В настоящее время не существует других приборов и установок, которые бы успешно использовали данный метод. Метод позволяет достичь наиболее высокой точности оценки химического состава ПКЛ при анализе индивидуального события ШАЛ по сравнению с существующими наземными установками. Успешная реализация Проекта позволит получать экспериментальные данные для восстановления парциальных спектров для нескольких групп ПКЛ (протоны, гелий, группы CNO и Fe) в области энергий 1-1000 ПэВ. Данные о составе ПКЛ при этих энергиях может иметь определяющее значение при выборе модели перехода от галактических космических лучей к экстрагалактическим, что, в свою очередь, важно для построения глобальной картины ускорения и распространения космических лучей во Вселенной.

на английском языке

The Project is aimed at development of a unique device using modern photodetectors based on silicon photomultipliers (SiPM), which is installed on an unmanned aerial vehicle (UAV). The device will allow to obtain new scientific knowledge about the chemical composition of primary cosmic rays (PCR) in the 1-1000 PeV energy range by recording the reflected Cherenkov light (CL) of extensive air showers (EAS). Currently, there are no other devices and installations that would successfully use this method. The method allows to achieve the highest accuracy of estimation of the chemical composition of PCR in the analysis of the individual EAS events in comparison with existing ground installations. The successful implementation of the Project will allow obtaining experimental data for the reconstruction of partial spectra for several mass groups of PCR particles (protons, helium, CNO and Fe groups) in the 1-1000 PeV energy range. Data on the composition of PCR at these energies can be of decisive importance when choosing a model of transition from galactic cosmic rays to extragalactic, which, in turn, is important for constructing a global picture of the acceleration and propagation of cosmic rays in the Universe.

1.6. В состав научного коллектива будут входить:

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

8 исполнителей проекта (включая руководителя),

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

в том числе

4 исполнителей в возрасте до 39 лет включительно,

из них:

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

1.7. Планируемый состав научного коллектива с указанием фамилий, имен, отчеств (при наличии) членов коллектива, их возраста на момент подачи заявки, ученых степеней, должностей и основных мест работы, формы отношений с

организацией (трудовой договор, гражданско-правовой договор) в период реализации проекта.

Бонвеч Елена Алексеевна, 47 лет, к.ф.-м.н, н.с. НИИЯФ МГУ, трудовой договор с МГУ.

Вайман Игорь Алексеевич, 23 года, студент 2 курса магистратуры физического факультета МГУ, вед. программист НИИЯФ МГУ, трудовой договор с МГУ.

Галкин Владимир Игоревич, 62 года, д.ф.м.н, профессор кафедры физики космоса, физический факультет МГУ, трудовой договор с МГУ.

Кобякова Елизавета Андреевна, 23 года, студентка 1-го курса магистратуры физического факультета МГУ, в случае поддержки заявки будет заключен трудовой договор с МГУ.

Латыпова Василиса Сергеевна, 19 лет, студентка 3-го курса физического факультета МГУ, в случае поддержки заявки будет заключен трудовой договор с МГУ.

Николаев Алексей Станиславович, 41 год, главный специалист НИИЯФ МГУ, трудовой договор с МГУ.

Подгрудков Дмитрий Аркадьевич, 35 лет, к.ф.-м.н, доцент кафедры физики космоса, физический факультет МГУ, трудовой договор с МГУ.

Чернов Дмитрий Валентинович, 47 лет, к.т.н., с.н.с. НИИЯФ МГУ, трудовой договор с МГУ.

Соответствие профессионального уровня членов научного коллектива задачам проекта

на русском языке

Научный коллектив состоит из сотрудников и студентов область профессиональных интересов которых тесно связана содержанием данной заявки. В частности:

Бонвеч Елена Алексеевна имеет большой опыт создания программного обеспечения для детекторов космического излучения, сбора, хранения и обработки данных, моделирования эксперимента. Ею были созданы программы автоматической работы детекторов СФЕРА и СФЕРА-2, программы для первичной обработки данных этих детекторов.

Вайман Игорь Алексеевич работает по тематике моделирования и анализа отклика детектора, разрабатывает программы обработки данных и восстановления параметров ШАЛ, бакалаврский диплом был защищён по теме восстановления направления прихода ШАЛ по данным установки СФЕРА-2.

Галкин Владимир Игоревич имеет многолетний опыт численных расчётов и статистического моделирования в области физики космических лучей и физики высоких энергий, последние 20 лет занимается моделированием различных космических детекторов, в частности, развивает методику регистрации широких атмосферных ливней на основании моделирования ногомерных характеристик черенковского света ШАЛ.

Кобякова Елизавета Андреевна имеет опыт анализа искусственных событий ШАЛ и разработки критериев, основанных на оптических характеристиках ливней и чувствительных к массе первичной частицы. Её диплом бакалавра был посвящён этой тематике.

Латыпова Василиса Сергеевна работает по тематике ШАЛ несколько месяцев. Направление её научной работы - анализ оптических характеристик ШАЛ на предмет извлечения информации о массе первичных частиц.

Николаев Алексей Станиславович работает главным специалистом в научно-техническом центре приборостроения НИИЯФ МГУ, имеет большой опыт в создании научных приборов, разработке технических заданий и другой конструкторской документации.

Подгрудков Дмитрий Аркадьевич имеет многолетний опыт численных расчётов и статистического моделирования в области физики космических лучей и физики высоких энергий (диссертация выполнена по моделированию ШАЛ сверхвысоких энергий), опыт в обработке экспериментальных данных, их анализа (СФЕРА-2).

Чернов Дмитрий Валентинович имеет большой опыт в разработке и создании экспериментальных установок СФЕРА, СФЕРА-2 и Тунка-133 для изучения космических лучей, являлся организатором и руководителем нескольких грантов РФФИ.

на английском языке

The research team consists of employees and students whose professional interests are closely related to the content of this application. In particular:

Elena Bonvech has extensive experience in creating software for space radiation detectors; collecting, storing and processing data and modeling. She created programs for automatic operation of detectors SPHERE and SPHERE-2, programs for primary data processing of these detectors.

Vayman Igor works on the subject of modeling and analysis of the detector response, develops programs for data processing and recovery of EAS parameters, bachelor's degree was defended on the topic of recovery of the EAS arrival direction according to the SPHERE-2 detector.

Vladimir Galkin has many years of experience in numerical calculations and statistical modeling in the field of cosmic ray physics and high energy physics. For the last 20 years he has been modeling various space detectors, in particular, developing a technique for recording extensive air showers based on modeling the multidimensional characteristics of Cherenkov light from EAS.

Elizaveta Kobyakova has experience in analyzing artificial EAS events and developing criteria sensitive to the mass of the primary particle based on the optical characteristics of showers. Her bachelor's degree was on this subject.

Vasilisa Latypova works on the subject of EAS for several months. The direction of her scientific work is the analysis of EAS optical characteristics for extracting information about the mass of primary particles.

Nikolaev Alexey works as a chief specialist in the scientific and technical center of instrumentation SINP MSU, has extensive experience in the creation of scientific instruments, the development of technical specifications and other design documentation.

Podgrudkov Dmitry has many years of experience in numerical calculations and statistical modeling in the field of cosmic ray physics and high energy physics (thesis on modeling of ultrahigh energy spheres), experience in the processing of experimental data, their analysis (SPHERE-2, OPERA).

Chernov Dmitry has extensive experience in the development and creation of experimental facilities SPHERE, SPHERE-2 and Tunka-133 for the study of comic rays, was the organizer and head of several grants RFBR.

1.8. Планируемый объем финансирования проекта Фондом по годам (указывается в 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.

2020 г. - 6000 тыс. рублей,

2021 г. - 6000 тыс. рублей,

2022 г. - 6000 тыс. рублей.

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.

8 публикаций,

из них

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

Информация о научных изданиях, в которых планируется 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

Предполагается публикация статей в следующих научных изданиях:

Astroparticle Physics (WoSCC, Scopus, РИНЦ) - статья

Advances in Space Research (WoSCC, Scopus, РИНЦ) - статья

Journal of Physics: Conference Series (Scopus, РИНЦ) - статьи

Proceedings of Science (Scopus, РИНЦ) - статьи

Иные способы обнародования результатов выполнения проекта

Представление докладов на Российской конференции по космическим лучам 2020 и 2022, Международной конференции по космическим лучам ICRC-2021, Европейском симпозиуме по космическим лучам 2022, других международных и российских конференциях.

1.10. Число публикаций членов научного коллектива, опубликованных в период с 1 января 2015 года до даты подачи заявки,

68, из них

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

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

Не планируется.

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, он 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 _____/Д.В. Чернов/

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

Чернов Дмитрий Валентинович

на английском языке фамилия и инициалы

Chernov D.V.

WoS ResearcherID (при наличии)

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

E-1989-2012

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.

7003345449

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

23.01.1972

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 технических 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), участие в оргкомитетах или программных комитетах известных международных конференций, иной опыт организации международных мероприятий

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.

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

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

на русском языке

регистрация космических лучей, черенковские детекторы, ядерная электроника, автоматизация научных исследований.

на английском языке

cosmic ray registration, cherenkov light detector, nuclear electronic, automation of scientific researches.

2.8. Область научных интересов – коды по классификатору Фонда

02-104

2.9. Перечень публикаций руководителя проекта, опубликованных в период с 1 января 2015 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 2015 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 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

R. A. Antonov, E. A. Bonvech, D. V. Chernov, T. A. Dzhatdov, V. I. Galkin, D. A. Podgrudkov, and T. M. Roganova,
“Spatial and temporal structure of EAS reflected cherenkov light signal,” *Astroparticle Physics*, vol. 108, pp. 24–39, 2019.
DOI: 10.1016/j.astropartphys.2019.01.002.

B. Elena, D. Timur, D. V. Chernov, F. Miroslav, F. Michael, G. Vladimir, G. Gali, K. Vladimir, P. Dmitry, and S. Alexander,
“Method of EAS’s Cherenkov and fluorescent light separation using silicon photomultipliers,” *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1181, p. 012025, 2019.
DOI: 10.1088/1742-6596/1181/1/012025.

E. A. Bonvech, V. I. Galkin, T. A. Dzhatdov, D. A. Podgrudkov, T. M. Roganova, and D. V. Chernov,
“Spatiotemporal structure of a reflected cherenkov light signal as seen by the SPHERE-2 telescope.” *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics*, vol. 83, no. 8, pp. 995–997, 2019.
DOI: 10.3103/S1062873819080082

D. A. Podgrudkov, R. A. Antonov, E. A. Bonvech, D. V. Chernov, Mir. Finger, Mich. Finger, T. A. Dzhatdov,
“Cosmic ray study by means of reflected EAS Cherenkov light method with the SPHERE-2 detector”, *PoS*, no. ICRC2017, pp. 1–8, 2017.
DOI: 10.22323/1.301.0537

D. V. Chernov, E. A. Bonvech, T. A. Dzhatdov, Mir. Finger, Mich. Finger, V. I. Galkin, G. K. Garipov, V. A. Kozhin, D. A. Podgrudkov, A. V. Skurikhin,
“Position-sensitive SiPM detector for separation of Cherenkov and fluorescent light of EAS,” *PoS*, no. ICRC2017, pp. 1–8, 2017.
DOI: 10.22323/1.301.0444

R. A. Antonov, D. V. Chernov, E. A. Bonvech, L. G. Dedenko, M. Finger, D. A. Podgrudkov, and T. M. Roganova,
“Detector for the ultrahigh energy cosmic rays composition study in Antarctica,” *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 798, no. 1, pp. 1–5, 2017.
DOI: 10.1088/1742-6596/798/1/012151
IF=0.211

R. A. Antonov, D. V. Chernov, and Yu. I. Stozhkov,
“Study of the energy spectrum and mass composition of primary cosmic rays in the energy range of 10^{18} – 10^{20} eV using a balloon setup in Antarctica (Sphere-Antarctica project),” *Bulletin of the Lebedev Physics Institute*, vol. 43, no. 2, pp. 80–86, 2016.
DOI: 10.3103/S106833561602007X
<http://istina.msu.ru/media/publications/article/093/822/45253313/art3A10.31032FS106833561602007X.pdf>
IF=0.326

Chernov, D.V.; Antonov, R.A.; Bonvech, E.A.; Galkin, V.I.; Garipov, G.K.; Podgrudkov, D.A.; Roganova, T.M.; Finger, Mich.; Finger, Mir.,
“The prototype Sphere-Antarctica and the possibility of using silicon photomultiplier for registration of Cherenkov and

fluorescence light of EAS", Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics, v.81, no.4, p.499-503,
DOI:10.7868/S0367676517040123

Antonov R.A., Bonvech E.A., Chernov D.V., Podgrudkov D.A., Roganova T.M.
The LED calibration system of the SPHERE-2 detector// Astroparticle Physics, Elsevier BV (Netherlands), V. 77, P. 55-65,
DOI:10.1016/j.astropartphys.2016.01.004
IF=3.584

CHERNOV, D.V., ANTONOV, R.A., AULOVA, T.V., BESSHAPOV, S.P., BONVECH, E.A., GALKIN, V.I., DZHATDOEV, T.A., PETKUN, A.S.,
PODGRUDKOV, D.A., ROGANOVA, T.M., SYSOEVA, T.I., FINGER, M., FINGER, M. and SHAULOV, S.B.,
Investigation of SPHERE-2 data sensitivity to chemical composition of primary cosmic rays. Bulletin of the Russian Academy of
Sciences: Physics, 79(3), pp. 359-361., 2015.
DOI: 10.3103/S1062873815030144,
<http://istina.msu.ru/media/publications/article/c8d/e4e/9004024/BRAS359.pdf>

ANTONOV, R.A., AULOVA, T.V., BONVECH, E.A., GALKIN, V.I., DZHATDOEV, T.A., PODGRUDKOV, D.A., ROGANOVA, T.M. and
CHERNOV, D.V., 2015.
Detection of reflected Cherenkov light from extensive air showers in the SPHERE experiment as a method of studying
superhigh energy cosmic rays. Physics of Particles and Nuclei, 46(1), pp. 60-93.,
DOI: 10.1134/S1063779615010025,
<http://istina.msu.ru/media/publications/article/d97/a94/8315438/Antonov15b.pdf>
IF=0.619

ANTONOV, R.A., AULOVA, T.V., BONVECH, E.A., CHERNOV, D.V., DZHATDOEV, T.A., FINGER, M., FINGER, M., GALKIN, V.I.,
PODGRUDKOV, D.A. and ROGANOVA, T.M.,
Event-by-event study of CR composition with the SPHERE experiment using the 2013 data. Journal of Physics: Conference
Series, 632(1), 2015
DOI: 10.1088/1742-6596/632/1/012090,
http://istina.msu.ru/media/publications/article/846/3ed/9006512/Antonov15c_final.pdf

Web of Science ResearcherID: <https://publons.com/researcher/2732751/dmitry-v-chernov/publications/>

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

**Перечень содержит 0 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 определяется по базе данных
<http://www.scimagojr.com/>).**

**2.10. Основные научные результаты руководителя проекта за период с 1 января 2015 года (результаты должны
подтверждаться сведениями из заявки, например - публикациями)
на русском языке**

Основным научным результатом является разработка метода разделения двух оптических компонент широких
атмосферных ливней (ШАЛ) - черенковского (ЧС) и флуоресцентного (ФС) света при проведении исследований
первичных космических лучей (ПКЛ) сверхвысоких и предельно-высоких энергий. Созданный аппаратный и
математический комплекс позволяет повысить точность восстановления характеристик ПКЛ — первичной энергии и
химического состава для наземных и аэрокосмических установок.

Метод разделения основан на возможности одновременной регистрации света парами фотоприёмников на один из
которых свет попадает непосредственно с зеркала или собирающей линзы, а на другой приходит через оптический
фильтр. В качестве фотоприёмника в были использованы современные кремниевые фотоумножители (SiPM).
Отношение сигналов от фотоприёмников с фильтром и без фильтра определяется соотношением ФС и ЧС. Были
исследованы свойства шести разных фильтров УФ диапазона из оптического цветного стекла (УФС-1, УФС-2, ФС6) и
интерференционные фильтры (SL 360\50, SL 280-380, FF01-375/110). Для достижения поставленной цели были
изготовлены два стенда для определения коэффициентов пропускания ФС и ЧС. В одном стенде был применен

специально изготовленный источник ФС, а в другом ЧС генерировался при прохождении мюонов через акриловый радиатор. Исследованы угловые характеристики пропускания фильтров и светосборников.

По результатам проведенного моделирования ФС и ЧС ШАЛ можно сделать следующие выводы: рассеянный ЧС является существенной помехой при регистрации ФС ШАЛ и может доминировать над ним; так как рассеянный ЧС имеет более широкое угловое распределение и вклад ЧС в сигнал меняется вдоль трека ливня, то световой профиль ШАЛ нельзя обрабатывать на основании только флуоресцентного профиля. Таким образом, необходимо использовать методы подавления черенковской составляющей светового сигнала аппаратными средствами.

Главным методическим результатом является изготовление и успешное полевое испытание элемента матрицы из 49-ти SiPM и измерительной аппаратуры. Матрица была установлена в прототип телескопа, который работал в режиме регистрации черенковского света ШАЛ. Измерена чувствительность SiPM к фоновому свету от звезд, а также ослабление света звездного неба при прохождении через исследуемые светофильтры.

на английском языке

The main scientific result is the development of a method of separation of two optical components of extensive atmospheric showers (EAS) - Cherenkov (CL) and fluorescent (FL) light in the study of primary cosmic rays (PCR) of ultrahigh and extremely high energies. The created hardware and mathematical complex allows to increase accuracy of recovery of characteristics of PCR-primary energy and chemical composition for ground and aerospace installations.

The separation method is based on the possibility of simultaneous registration of light by pairs of photodetectors on one of which light enters directly from a mirror or collecting lens, and on the other comes through an optical filter. Modern silicon photomultipliers (SiPM) were used as a photodetector. The ratio of signals from photodetectors with a filter and without a filter is determined by the ratio of FL and CL. The properties of six different UV filters from optical colored glass (UFS-1, UFS-2, FS6) and interference filters (SL 360\50, SL 280-380, FF01-375/110) were investigated. To achieve this goal, two stands were mounted to determine the transmittance of FL and CL. In one stand, a specially mounted FL source was used, and in the other, the emergency was generated when muons passed through an acrylic radiator. Angular transmission characteristics of filters and light collectors are investigated.

According to the results of the simulation of FL and CL of EAS can draw the following conclusions: multiple emergencies is a significant barrier to registration FS EAS and can dominate it; as multiple CL has a wider angular distribution and contribution of CL to the signal varies along the shower track, the light profile of the EAS can not be treated only on the basis of fluorescence profile. Thus, it is necessary to use methods of suppression of the Cherenkov component of the light signal by hardware.

The main methodological result is the production and successful field testing of the matrix element of 49 SiPM and measuring equipment. The matrix was installed in the prototype telescope, which worked in the mode of recording Cherenkov light of EAS. The sensitivity of SiPM to background light from stars was measured, as well as the attenuation of starry sky light when passing through the studied light filters.

**2.11. Общее число публикаций руководителя проекта за период с 1 января 2015 года, 21, из них:
12 - опубликовано в изданиях, индексируемых в Web of Science Core Collection или Scopus.**

2.12. Дополнительный список публикаций руководителя проекта с 1 января 2015 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 пункте 2.9 настоящей формы.

на английском языке

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

Участие в грантах РФФИ в качестве руководителя:

16-02-00777-а, Позиционно-чувствительный детектор для выделения черенковского и флуоресцентного света ШАЛ, 2016-2018

13-02-00470-а, Исследование состава первичных космических лучей в области 10-1000 ПэВ по экспериментальным данным установки СФЕРА-2, 2013-2015.

Участие в грантах РФФИ в качестве исполнителя:

19-72-20230, Создание компактного и широкоугольного атмосферного черенковского гамма телескопа с анализом изображений с камерой на основе кремниевых фотоумножителей для энергий выше 10 ТэВ, 2019-2022.

на английском языке

Participation in RFBR grants as a leader:

16-02-00777-а, Position-sensitive detector for separation of Cherenkov and fluorescent light of EAS , 2016-2018

13-02-00470-а, Investigation of chemical composition of primary cosmic rays in the energy range of 10-1000 PeV on experimental data of the SPHERE-2 detector, 2013-2015

Participation in RSCF grants as a principal participant:

19-72-20230, Development of a Compact-Size, Wide Field of View VHE Gamma-Ray Imaging Cherenkov Telescope With a SiPM-Based Camera for Energies Above 10 TeV, 2019-2022.

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

Являюсь исполнителем проекта № 19-72-20230, 2019-2022 гг.

2.14. Планируемое участие в научных проектах (в любом качестве) в 2020 году

Общее количество – 2, из них:

руководство – 1, участие в качестве исполнителя – 1,

а именно:

Данная заявка, руководитель

19-72-20230, РФФИ, исполнитель

(указываются в том числе грантодатели или заказчики проектов и источник финансирования, например – государственное задание учредителя, гранты РФФИ, ФПИ, РФФИ, 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 -

70 процентов.

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

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

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

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

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

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

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

2.18. Почтовый адрес

119234, Москва, Ленинские горы, дом 1, строение 2, НИИ ядерной физики имени Д.В.Скобельцына, МГУ имени

2.19. Контактный телефон

+79166372642

2.20. Электронный адрес (E-mail)

chr@dec1.sinp.msu.ru

2.21. Участие в проекте:

Руководитель проекта

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

В формате pdf, до 3 Мб.

на русском языке

на английском языке

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

Фамилия, имя и отчество	Чернов Дмитрий Валентинович
Данные документа, удостоверяющего личность *** (серия, номер, сведения о дате и органе выдачи)	<div></div> <div></div> <div></div> <div>Внимание! Данное поле заполняется вручную в печатном экземпляре заявки. Заполнение обязательно!</div>
Адрес проживания	119234, Москва, Ленинские горы, дом 1, строение 2, НИИ ядерной физики имени Д.В.Скобельцына, МГУ имени М.В.Ломоносова (НИИЯФ МГУ)
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 _____/Д.В. Чернов/

Дата подписания « ____ » _____ 2019 г.

Форма 2. Сведения об основном исполнителе проекта

2.1. Фамилия, имя, отчество (при наличии)

на русском языке

Бонвеч Елена Алексеевна

на английском языке фамилия и инициалы

Bonvech E.

WoS ResearcherID (при наличии)

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

E-5823-2012

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.

18435864600

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

18.06.1972

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, 1999

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

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

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

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

на русском языке

аэростат первичные космические лучи черенковский свет широкие атмосферные ливни гамма-астрономия

на английском языке

balloon primary cosmic rays Cherenkov light extensive air shower gamma rays

2.8. Область научных интересов – коды по классификатору Фонда

02-104

2.9. Общее число публикаций за период с 1 января 2015 года,

18, из них:

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

2.10. Список публикаций основного исполнителя проекта с 1 января 2015 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

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»).

2019 Method of EAS's Cherenkov and fluorescent light separation using silicon photomultipliers

Elena Bonvech, Timur Dzhatdov, Chernov D.V., Miroslav Finger, Michael Finger, Vladimir Galkin, Gali Garipov, Vladimir Kozhin, Dmitry Podgrudkov, Alexander Skurikhin

Journal of Physics: Conference Series, Institute of Physics (United Kingdom), 1181, 012025

<http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1181/1/012025>

2019 Spatial and temporal structure of EAS reflected Cherenkov light signal

Antonov R.A., Bonvech E.A., Chernov D.V., Dzhatdov T.A., Galkin V.I., Podgrudkov D.A., Roganova T.M.

Astroparticle Physics, Elsevier BV (Netherlands), 108, 24-39

<http://dx.doi.org/10.1016/j.astropartphys.2019.01.002>

IF= 2.598

2019 Spatiotemporal Structure of a Reflected Cherenkov Light Signal as Seen by the Sphere-2 Telescope,

Bonvech E.A., Galkin V.I., Dzhatdov T.A., Podgrudkov D.A., Roganova T.M., Chernov D.V.

Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics, Allerton Press Inc. (United States), 83, № 8, 995-997

<http://dx.doi.org/10.3103/S1062873819080082>

2017 Cosmic ray study by means of reflected EAS Cherenkov light method with the SPHERE-2 detector

Podgrudkov D.A., Antonov R.A., Bonvech E.A., Chernov D.V., Finger Mir, Dzhatdov T.A.

PoS, ICRC2017, 1-8

2017 Detector for the ultrahigh energy cosmic rays composition study in Antarctica

Chernov D.V., Antonov R.A., Bonvech E.A., Dedenko L.G., Finger Mir, Podgrudkov D.A., Roganova T.M.

Journal of Physics: Conference Series, Institute of Physics (United Kingdom), 798, 1, 1-5

<http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/798/1/012151>

2017 Position-sensitive SiPM detector for separation of Cherenkov and fluorescent light of EAS

Chernov D.V., Bonvech E.A., Dzhatdov T.A., Finger Miroslav, Galkin V.I., Garipov G.K., Kozhin V.A., Podgrudkov D.A., Skurikhin A.V.

PoS, ICRC2017, c. 1-8

2017 The Prototype SPHERE-Antarctica Station and the Possibility of Using Silicon PMTs to Detect the Cherenkov and Fluorescent Light of EASes

Chernov D.V., Antonov R.A., Bonvech E.A., Garipov G.K., Galkin V.I., Podgrudkov D.A., Roganova T.M., Finger Mir

Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics, Allerton Press Inc. (United States), 81, 4, 464-467

<http://dx.doi.org/10.3103/S1062873817040128>

2016 The LED calibration system of the SPHERE-2 detector

Antonov R.A., Bonvech E.A., Chernov D.V., Podgrudkov D.A., Roganova T.M.

Astroparticle Physics, Elsevier BV (Netherlands), 77, 55-65

<http://dx.doi.org/10.1016/j.astropartphys.2016.01.004>

IF= 2.598

2015 Detection of reflected Cherenkov light from extensive air showers in the SPHERE experiment as a method of studying superhigh energy cosmic rays

Chernov D.V., Antonov R.A., Aulova T.V., Bonvech E.A., Galkin V.I., Dzhatdov T.A., Podgrudkov D.A., Roganova T.M.

Physics of Particles and Nuclei, Maik Nauka/Interperiodica Publishing, 46, 1, 60-93

<http://dx.doi.org/10.1134/S1063779615010025>

IF=0.619

2015 Event-by-event study of CR composition with the SPHERE experiment using the 2013 data
Anotov R.A., Aulova T.V., Bonvech E.A., Chernov D.V., Dzhatdov T.A., Finger Mih, Galkin V.I., Podgrudkov D.A., Roganova T.M.
Journal of Physics: Conference Series, Institute of Physics (United Kingdom), 632, 012090, 1-8
<http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/632/1/012090>

2015 Investigation of SPHERE-2 Data Sensitivity to Chemical Composition of Primary Cosmic Rays
Chernov D.V., Antonov R.A., Aulova T.V., Besshapov P.S., Bonvech E.A., Galkin V.I., Dzhatdov T.A., Petkun A.S., Podgrudkov D.A., Roganova T.M., Sysoeva T.I., Finger Mih, Finger Mir, Shaulov S.B.
Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics, Allerton Press Inc. (United States), 79, 3, 359-361
<http://dx.doi.org/10.3103/S1062873815030144>

2015 Results and prospects on registration of reflected Cherenkov light of EAS from cosmic particles above 10^{15} eV
Antonov R.A., Aulova T.V., Bonvech E.A., Chernov D.V., Dzhatdov T.A., Mir Finger, Mich Finger, Galkin V.I., Podgrudkov D.A., Roganova T.M.
Conference Proceedings - 20th Particles & Nuclei International Conference (25-29 August 2014, Hamburg, Germany), Verlag Deutsches Elektronen-Synchrotron Hamburg, Germany, 411-415
<http://dx.doi.org/10.3204/DESY-PROC-2014-04/152>

2.11. Опыт выполнения научных проектов и участия в них (указываются наименования фондов (организаций), форма участия, номера, названия проектов и сроки выполнения за последние 5 лет)

Участие в грантах РФФИ в качестве исполнителя

16-02-00777-а, Позиционно-чувствительный детектор для выделения черенковского и флуоресцентного света ШАЛ, 2016-2018

13-02-00470-а, Исследование состава первичных космических лучей в области 10-1000 ПэВ по экспериментальным данным установки СФЕРА-2, 2013-2015.

2.12. Планируемое участие в научных проектах (в любом качестве) в 2020 году

Общее количество – 0, из них:

руководство – 0, участие в качестве исполнителя – 0,

а именно:

нет

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

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

50 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, разработке и чтении новых образовательных курсов в российских и зарубежных вузах)

2.15. В 2018 или в 2019 годах участвовал в качестве руководителя проекта (руководителя направления комплексной научной программы организации), финансируемого Фондом, или исполнителя проекта, финансируемого Фондом, в следующих проектах (при наличии):

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

+79104905674, ptrwww@mail.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	Бонвеч Елена Алексеевна
Данные документа, удостоверяющего личность*** (серия, номер, сведения о дате и органе выдачи)	<div style="border-bottom: 1px solid black; height: 15px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border-bottom: 1px solid black; height: 15px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border-bottom: 1px solid black; height: 15px;"></div> <p style="color: red; font-size: small;">Внимание! Данное поле заполняется вручную в печатном экземпляре заявки. Заполнение обязательно!</p>
Адрес проживания	119899, Воробьевы горы, д. 1, стр. 2, НИИЯФ МГУ
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.А. Бонвеч/

Дата подписания «___» _____ 2019 г.

Форма 2. Сведения об основном исполнителе проекта

2.1. Фамилия, имя, отчество (при наличии)

на русском языке

Галкин Владимир Игоревич

на английском языке фамилия и инициалы

Galkin V.I.

WoS ResearcherID (при наличии)

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

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.

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

29.12.1955

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, 2006

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

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

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

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

на русском языке

сильное взаимодействие, астрофизика частиц, гамма-астрономия, широкие атмосферные ливни, черенковский свет, метод Монте-Карло

на английском языке

strong interaction, astroparticle physics, gamma-ray astronomy, extensive air showers, Cherenkov light, Monte Carlo method

2.8. Область научных интересов – коды по классификатору Фонда

02-101 02-104

2.9. Общее число публикаций за период с 1 января 2015 года,

36, из них:

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

2.10. Список публикаций основного исполнителя проекта с 1 января 2015 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

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»).

Muon Radiography Method for Non-Invasive Probing an Archaeological Site in the Naryn-Kala Citadel

Askerkhan Abiev, Alexander Bagulya, Mikhail Chernyavskiy, Aigerim Dashkina,
Alexey Dimitrienko, Alimurad Gadjiev, Murtazali Gadjiev, Vladimir Galkin,
Alexey Gippius, Ludmila Goncharova, Victor Grachev, Nina Konovalova,
Alexander Managadze, Natalia Okateva, Natalia Polukhina, Tatiana Roganova,
Tatiana Shchedrina, Nikolai Starkov, Abdulgamid Teymurov, Valeri Tioukov,
Svetlana Vasina and Pavel Zarubin

Appl. Sci. 2019, 9, 2040

doi:10.3390/app9102040

IF=2.217

Spatial and temporal structure of EAS reflected Cherenkov light signal

Antonov R.A., Bonvech E.A., Chernov D.V., Dzhatdov T.A., Galkin V.I., Podgrudkov D.A., Roganova T.M.

Astroparticle Physics 108 (2019) 24–39

DOI: 10.1016/j.astropartphys.2019.01.002

IF= 2.598

A Method for Estimation of the Parameters of the Primary Particle of an Extensive Air Shower by a High-Altitude Detector

Galkin V.I., Borisov A.S., Bakhromzod R., Batraev V.V., Latipova S.Z., Muqumov A.R

Moscow University Physics Bulletin. vol.73, n. 2, pp.179-186, 2018.

doi: <https://doi.org/10.3103/S0027134918020078>

IF=0.580

CORONAS-F observation of gamma-ray emission from the solar flare on 2003 October 29

Kurt V.G., Yushkov B.Yu., Galkin V.I., Karel Kudela, Kashapova Larisa K.

New Astronomy. vol.56, pp.102-112, 2017

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.newast.2017.05.002>

IF=0.92

Aleksandrov A.B., Vladymyrov M.S., Galkin V.I., Goncharova L.A., Grachev V.M.,
Vasina S.G., Konovalova N.S., Malovichko A.A., Managadze A.K., Okat'eva N.M.,
Polukhina N.G., Roganova T.M., Starkov N.I., Tioukov V.E., Chernyavsky M.M.,
Shchedrina T.V., Method of muonic radiography for fundamental and applied
researches, Physics Uspekhi, 2017, 60, N12, p.1-18.

DOI: <http://dx.doi.org/10.3367/UFNe.2017.07.038188>

IF=2.301

Svertilov S.I., Panasyuk M.I., Bogomolov V.V., Amelushkin A.M., Barinova V.O.,
Galkin V.I., Iyudin A.F., Kuznetsova E.A., Prokhorov A.V., Petrov V.L., Rozhkov G.V.,
Yashin I.V., Gorbovskey E.S., Lipunov V.M., Park I.H., Jeong S., Kim M.B., Space
Science Reviews, 2018, 214, p.8. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11214-017-0442-9>

IF=7.497

Experiments on muon radiography with emulsion track detectors,

A. Aleksandrov, A. Bagulya, S. Baklagin, M. Chernyavsky, V. Galkin, V. Grachev, N. Konovalova, A. Managadze, N. Polukhina, T.
Roganova, N. Starkov, T. Shchedrina, V. Tioukov, M. Vladymirov, S. Zemskova,

EPJ Web of Conferences, 2016, v 125, p 02022

IF=0.26

Studying the nature of the long-flying component of cosmic rays using X-ray emulsion chambers exposed in the Pamirs and

Tien Shan,

Borisov A.S., Chubenko A.P., Denisova V.G., Galkin V.I., Guseva Z.M., Kanevskaya E.A., Kogan M.G., Koulikov V.N., Morozov A.E., Mukhamedshin R.A., Nazarov S.N., Puchkov V.S., Pyatovsky S.E., Shoziyoev G.P., Smirnova M.D., Vargasov A.V.,
Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics, 2016, v 80, N 5, p 551-558
IF=0.3

CORONAS-F observation of HXR and gamma-ray emissions from the solar flare X10 on 29 October 2003 as a probe of accelerated proton spectrum, Kurt V.G., Yushkov B.Yu, Kudela K., Galkin V.I., Kashapova L.K., Contributions of the Astronomical Observatory Skalnaté Pleso, Astronomický Ústav SAV (Slovakia), 2015, v 45, № 1, p 42-59
IF=0.591

Detection of reflected Cherenkov light from extensive air showers in the SPHERE experiment as a method of studying superhigh energy cosmic rays, Antonov R., Aulova T., Bonvech E., Chernov D., Dzhatdov T., Galkin V., Podgrudkov D., Roganova T., Physics of Particles and Nuclei, 2015, v 46, № 1, p 60-93
IF=0.619

Instruments to study fast neutrons fluxes in the upper atmosphere with the use of high-altitude balloons, Iyudin A.F., Bogomolov V.V., Galkin V.I., Golovanov I.A., Krasnov A., Markelova A.K., Markelov I., Morgunova Yu, Osedlo V.I., Panasyuk M.I., Rozhkov G., Svertilov S.I., Advances in Space Research, 2015, v 56, № 10, p 2073-2079
IF=1.358

2.11. Опыт выполнения научных проектов и участия в них (указываются наименования фондов (организаций), форма участия, номера, названия проектов и сроки выполнения за последние 5 лет)

2.12. Планируемое участие в научных проектах (в любом качестве) в 2020 году

Общее количество – 2, из них:

руководство – 0, участие в качестве исполнителя – 2,

а именно:

РНФ, РФФИ

(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 -

40 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, разработке и чтении новых образовательных курсов в российских и зарубежных вузах)

Всего: руководство 18 студентами и 4 аспирантами, подготовлены два кандидата физ.-мат. наук. За последние 5 лет подготовлено 9 специалистов-физиков. В настоящее время: руководство двумя студентами.

Учебные курсы:

1. "Численные методы в физике" для студентов 4-го курса отделения ядерной физики физического факультета МГУ, 36 часов ежегодно в течение 21 года
2. "Методы обработки экспериментальных данных" для студентов 4-го курса кафедры физики космоса физического факультета МГУ, 36 часов ежегодно в течение 10 лет
3. "Численные методы в физике космоса" для студентов 5-го курса кафедры физики космоса физического факультета МГУ, 36 часов ежегодно в течение 10 лет
4. «Моделирование основных явлений и эксперимента в физике космоса и физике высоких энергий» для студентов 1-го года магистратуры кафедры физики космоса физического факультета МГУ, 144 часа ежегодно в течение 4 лет

2.15. В 2018 или в 2019 годах участвовал в качестве руководителя проекта (руководителя направления комплексной научной программы организации), финансируемого Фондом, или исполнителя проекта, финансируемого Фондом, в следующих проектах (при наличии):

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

+7 9261777664, v_i_galkin@mail.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	Галкин Владимир Игоревич
Данные документа, удостоверяющего личность*** (серия, номер, сведения о дате и органе выдачи)	<div></div> <div></div> <div></div> <div>Внимание! Данное поле заполняется вручную в печатном экземпляре заявки. Заполнение обязательно!</div>
Адрес проживания	117041, Москва, ул. Адм. Лазарева, д.38, кв.244
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 _____/В.И. Галкин/

Дата подписания «___» _____ 2019 г.

Форма 2. Сведения об основном исполнителе проекта

2.1. Фамилия, имя, отчество (при наличии)

на русском языке

Подгрудков Дмитрий Аркадьевич

на английском языке фамилия и инициалы

Podgrudkov D.

WoS ResearcherID (при наличии)

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

E-2115-2012

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.

7801386128

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

20.11.1983

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, 2012

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

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

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

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

на русском языке

космические лучи, излучение Вавилова-Черенкова, физика высоких энергий, ШАЛ

на английском языке

cosmic rays, Cherenkov light, high energy physics, EAS

2.8. Область научных интересов – коды по классификатору Фонда

02-104

2.9. Общее число публикаций за период с 1 января 2015 года,

43, из них:

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

2.10. Список публикаций основного исполнителя проекта с 1 января 2015 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

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»).

2019 Final results on neutrino oscillation parameters from the OPERA experiment in the CNGS beam

OPERA Collaboration

Physical Review D, V. 100, N 5, P. 1-8

<https://doi.org/10.1103/PhysRevD.100.051301>

2018 Final results of the search for $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ oscillations with the OPERA detector in the CNGS beam

OPERA Collaboration

Journal of High Energy Physics, 2018: 151

[https://doi.org/10.1007/JHEP06\(2018\)151](https://doi.org/10.1007/JHEP06(2018)151)

2016 The LED calibration system of the SPHERE-2 detector

Antonov R.A., Bonvech E.A., Chernov D.V., Podgrudkov D.A., Roganova T.M.

Astroparticle Physics, V. 77, P. 55-65

2015 Discovery of tau neutrino appearance in the CNGS neutrino beam with the OPERA experiment

Agafonova N., Aleksandrov A., Anokhina A., Dzhatdov T., Podgrudkov D., Roganova T., et al, (OPERA collaboration)

Physical Review Letters P 1-7 DOI: 10.1103/PhysRevLett.115.121802

2015 Event-by-event study of CR composition with the SPHERE experiment using the 2013 data

Антонов Р.А., АУЛОВА Т.В., Бонвеч Е.А., Чернов Д.В., Джатдоев Т.А., Фингер Мих, Галкин В.И., Подгрудков Д.А., Роганова Т.М.

Journal of Physics: Conference Series. I. 632, N. 012090, P 1-8 DOI:10.1088/1742-6596/632/1/012090

2.11. Опыт выполнения научных проектов и участия в них (указываются наименования фондов (организаций), форма участия, номера, названия проектов и сроки выполнения за последние 5 лет)

2.12. Планируемое участие в научных проектах (в любом качестве) в 2020 году

Общее количество – 2, из них:

руководство – 0, участие в качестве исполнителя – 2,

а именно:

текущий грант

грант РНФ 19-72-20230

(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 -

75 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, разработке и чтении новых образовательных курсов в российских и зарубежных вузах)

с 1 сентября 2016 Астрофизика космических лучей

МГУ имени М.В. Ломоносова, Физический факультет, Отделение ядерной физики, Кафедра физики космоса

обязательная, по выбору (спецкурс), лекции, 36 часов

с 1 сентября 2015 Введение в физику атомного ядра и частиц

МГУ имени М.В. Ломоносова, Физический факультет, Отделение астрономии

обязательная, базовой части, лекции, 36 часов

2.15. В 2018 или в 2019 годах участвовал в качестве руководителя проекта (руководителя направления комплексной научной программы организации), финансируемого Фондом, или исполнителя проекта, финансируемого Фондом, в следующих проектах (при наличии):

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

+79163244075, d.a.podgrudkov@physics.msu.ru

2.17. Участие в проекте:

Основной исполнитель проекта

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

Фамилия, имя и отчество	Подгрудков Дмитрий Аркадьевич
Данные документа, удостоверяющего личность *** (серия, номер, сведения о дате и органе выдачи)	<div></div> <div></div> <div></div> <div>Внимание! Данное поле заполняется вручную в печатном экземпляре заявки. Заполнение обязательно!</div>
Адрес проживания	117342, г. Москва, ул. Введенского, д. 12к2
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 _____/Д.А. Подгрудков/

Дата подписания «___» _____ 2019 г.

Форма 3. Сведения об организации

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

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

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

3.2. Сокращенное наименование

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

3.3. Наименование на английском языке

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

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

Федеральные государственные бюджетные учреждения

3.5. Форма собственности *(указывается по ОКФС)*

Федеральная собственность

3.6. Ведомственная принадлежность

Правительство Российской Федерации

3.7. ИНН, КПП, ОГРН, ОКТМО

7729082090, 772901001, 1037700258694, 45325000

3.8. Адрес

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

3.9. Фактический адрес

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

3.10. Субъект Российской Федерации

г Москва

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

Ректор, Садовничий Виктор Антонович

3.12. Контактный телефон

+74959394647

3.13. Электронный адрес *(E-mail)*

info@rector.msu.ru

Руководитель организации подтверждает, что:

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

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

Руководитель организации гарантирует, что:

- вознаграждение за выполнение работ по реализации проекта будет ежегодно получать каждый член научного коллектива;
- 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 изучение ядерного состава первичных космических лучей (ПКЛ) в области энергий 1-1000 ПэВ. В последнее время появились указания на то, что значительная часть ядер ПКЛ с энергией от 100 ПэВ до 1000 ПэВ может иметь экстрагалактическое происхождение. Исследование состава ПКЛ при этих энергиях может иметь определяющее значение при выборе модели перехода от галактических космических лучей к экстрагалактическим, что, в свою очередь, важно для построения глобальной картины ускорения и распространения космических лучей. Проблема массового состава первичных космических лучей сверхвысоких энергий ($E > 1$ ПэВ) в настоящее время далека от окончательного решения [1-3]. Несмотря на несколько десятилетий исследований по измерению состава ПКЛ непрямыми методами по компонентам ШАЛ и десятки проведенных экспериментов, парциальные спектры групп ядер до сих пор не измерены. Более того, результаты различных экспериментов по среднему логарифму массового числа в области энергий ~ 10 ПэВ отличаются в несколько раз [3-5]. Между тем, хорошее знание парциальных спектров групп ядер необходимо для тестирования различных моделей ускорения и распространения ПКЛ. Поэтому проведение новых экспериментов, чувствительных к ядерному составу космических лучей, является очень важной задачей современной астрофизики.

- [1] Schröder F.G. et al. High-Energy Galactic Cosmic Rays (Astro2020 Science White Paper) // arXiv:1903.07713 [astro-ph.HE] (2019)
- [2] Pierre Auger Collaboration. Evidence for a mixed mass composition at the 'ankle' in the cosmic-ray spectrum. // Physics Letters B, V. 762, P. 288-295 (2016)
- [3] Glushko A., Sabourov A. Variations of the cosmic ray composition at energy above 0.1 EeV as observed by muon detectors of Yakutsk array // JETP Lett. 98, 10, 655 (2013)
- [4] G.F. Antoni et al. KASCADE measurements of energy spectra for elemental groups of cosmic rays: Results and open problems. // Astroparticle Physics. - 2005. - Vol.24, no. 1-2. - P.1-25.
- [5] Aartsen M. G. et al. Measurement of the cosmic ray energy spectrum with IceTop-73. // Phys. Rev. D. - 2013 — V. 88 - P.042004.

на английском языке

The project is aimed at studying the mass composition of primary cosmic rays (PCR) in the energy range of 1-1000 PeV. Recently, there have been indications that a significant portion of PCR nuclei with energy from 100 PeV to 1000 PeV might have an extragalactic origin. The study of the PCR mass composition at these energies can be crucial in choosing a model of transition from galactic cosmic rays to extragalactic, which, in turn, is important for constructing a global picture of the acceleration and propagation of cosmic rays. The problem of the PCR mass composition at ultrahigh energies ($E > 1$ PeV) is currently far from a final solution [1-3]. Despite several decades of the PCRs composition studies by dozens of experiments using indirect methods based on extensive air showers components registration, the partial spectra of groups of nuclei have not yet been measured. Moreover, the results of various experiments on the average logarithm of the mass number in the energy range of ~ 10 PeV differ several times [3-5]. Meanwhile, a good knowledge of the partial spectra of groups of nuclei is necessary for testing different models of PCR acceleration and propagation. Therefore, conducting new experiments sensitive to the nuclear composition of cosmic rays is a very important task of modern astrophysics.

- [1] Schröder F.G. et al. High-Energy Galactic Cosmic Rays (Astro2020 Science White Paper) // arXiv:1903.07713 [astro-ph.HE] (2019)
- [2] Pierre Auger Collaboration. Evidence for a mixed mass composition at the 'ankle' in the cosmic-ray spectrum. // Physics Letters B, V. 762, P. 288-295 (2016)
- [3] Glushko A., Sabourov A. Variations of the cosmic ray composition at energy above 0.1 EeV as observed by muon detectors of Yakutsk array // JETP Lett. 98, 10, 655 (2013)
- [4] G.F. Antoni et al. KASCADE measurements of energy spectra for elemental groups of cosmic rays: Results and open problems. // Astroparticle Physics. - 2005. - Vol.24, no. 1-2. - P.1-25.
- [5] Aartsen M. G. et al. Measurement of the cosmic ray energy spectrum with IceTop-73. // Phys. Rev. D. - 2013 — V. 88 - P.042004.

4.2. Научная значимость и актуальность решения обозначенной проблемы

на русском языке

По современным теоретическим представлениям, основным механизмом образования частиц первичных космических лучей (ПКЛ) сверхвысоких энергий в нашей Галактике является ускорение заряженных частиц в остатках сверхновых. При этом максимальная энергия частиц не может превышать 1000 ПэВ. Однако, во всех крупных экспериментах [1-8] наблюдались частицы ПКЛ более высоких энергий вплоть до 100 ЭэВ (10^{20} эВ). Источники этих частиц пока не найдены, однако предполагается, что расположены они вне Галактики [9]. Для частиц галактических космических лучей до конца не ясен механизм ускорения на верхнем пределе энергий (т.к. различные предполагаемые механизмы ускорения позволяют ускорять до различных энергий с ограничениями по форме спектра и темпу ускорения); не до конца поняты механизмы “убегания” частиц из Галактики, равно как и механизмы захвата внегалактических частиц; серьёзным вопросом является транспорт частиц космических лучей в галактике, описание которого опирается на модели галактического магнитного поля (не включающие и не объясняющие пузыри Ферми, например); нет надёжного описания таких особенностей спектра, как “коллено”, “лодыжка” и пр. Даже массовый состав вне области прямых спутниковых наблюдений изучен слабо. Для получения цельной картины и прояснения этих вопросов необходимы максимально точные и надёжные экспериментальные данные с минимальными систематическими погрешностями.

В настоящее время наиболее актуальным направлением исследований является одновременная регистрация многих компонент ливня (multi-messenger detection), так все крупные эксперименты расширяют число регистрируемых ими компонент ливня (Pierre Auger Observatory развивает радио-метод, Telescope Array планирует сеть наземных детекторов черенковского излучения). Новые же эксперименты (TAIGA, LHAASO и пр.) изначально планируются гибридными, в отличие от первых крупных экспериментов, ориентировавшихся на одну компоненту ливня (сцинтилляционные детекторы AGASA, флуоресцентные телескопы HiRes).

Равно развиваются новые, ныне не используемые широко методы: радио-метод, применяемый в т.ч. в TAIGA и AUGER, плотные высокогорные детекторы (HAWC), детекторы с угловым разрешением (ПАМИР-XXI), спутниковые оптические детекторы (КЛПВЭ). Отдельным направлением работ является обеспечение возможной кросс-калибровки действующих экспериментов для построения общего, наиболее полного спектра и проверки моделей ядро-ядерных взаимодействий (что уже было проделано чисто математически, без какого-либо физического обоснования [10], и требует экспериментальной проверки).

В этой связи развитие нового метода регистрации космических лучей, сочетающего в себе новые методики регистрации (регистрация отражённого черенковского света с непрерывной областью регистрации, регистрация углового распределения черенковского света) и новые средства регистрации (кремниевые фотоумножители) представляется весьма актуальным.

[1] D.M. Edge et al., J. Phys. A, 6, p 1612 (1973)

[2] G. Brooke et al., Proceedings of the 19th International Cosmic Ray Conference, La Jolla, USA, Vol. 2, p.150 (1985)

[3] G.I. Rubtsov, L.G. Dedenko, G.F. Fedorova, E.Yu. Fedunin, A.V. Glushkov, D.S. Gorbunov, I.T. Makarov, M.I. Pravdin, T.M. Roganova, I.E. Sleptsov and S.V. Troitsky “Upper limit on the ultra-high-energy photon flux from AGASA and Yakutsk data” // Phys.Rev.D , 73, P. 063009 (2006), arXiv:astro-ph/0601449v1

[4] K. Shinozaki, M. Teshima for AGASA Collaboration, “AGASA Results”, Nucl. Phys. B (Procc. Suppl.) 136, 18-27 (2004)

[5] D.J. Bird, S.C. Corbato, H. U. Dai et al., “The cosmic-ray spectrum observed by the fly’s eye”, Astrophys. J. 424, 491-502 (1994)

[6] D.R. Bergman on behalf of the High Resolution Fly’s Eye Collaboration, “Observation of the GZK Cutoff Using the HiRes Detector”, arXiv:astro-ph/0609453v1 (15 Sep 2006)

[7] G. Matthiae on behalf of the Pierre Auger Collaboration, “New results from the Auger Observatory”, Invited talk at NO-VE IV International Workshop on “Neutrino Oscillations in Venice” arXiv:0807.1024v1 [astro-ph] (2008)

[8] F. Schussler for the Pierre Auger Collaboration, “Measurement of the cosmic ray energy spectrum above 1018 eV using the Pierre Auger Observatory”, 31st International Cosmic Ray Conference, (Lodz, Poland), arXiv:0906.2189v2 [astro-ph.HE] (10 Jul 2009)

[9] Telescope Array Collaboration, R. Abbasi et al., “Search for EeV Protons of Galactic Origin,” Astropart. Phys. 86 (2017) 21–26, Pierre Auger Collaboration, A. Aab et al., “Large-scale cosmic-ray anisotropies above 4 EeV measured by the Pierre Auger Observatory,” Astrophys. J. 868 no. 1, (2018)

[10] Dawson B. et al. The energy spectrum of cosmic rays at the highest energies //EPJ Web of Conferences 53, 01005 (2013)

на английском языке

According to modern theoretical concepts, the main source of ultra-high energy PCR particles in our Galaxy is the

acceleration of charged particles in supernova remnants. In this case, the maximum energy of the particles can not exceed 1000 PeV. However, in all large experiments [1-8] PCR particles with higher energies (up to 10^{20} eV) were observed. The sources of these particles have not yet been found, but it is assumed that they are located outside the Milky Way galaxy [9]. For galactic PCR particles the mechanism of the acceleration is not completely clarified near the upper limit of energies (as different possible mechanisms of acceleration can accelerate to different energies with constraints on the form of the spectrum and acceleration rate); not fully understood is the mechanisms of the particles "escape" from the Galaxy, as well as mechanisms extragalactic PCR particle "capture"; a major issue is the transport of cosmic ray particles in the Galaxy, the description of which relies on models of the galactic magnetic field (not including and not explaining Fermi bubbles, for example); there is no reliable consistent description of such features of the spectrum as "knee", "ankle", etc. Even the mass composition outside the area of direct satellite observations is poorly studied. To obtain a complete picture and clarify these issues, the most accurate and reliable experimental data with minimal systematic errors is needed.

Currently, the most relevant area of research is the simultaneous registration of many components of the EAS (multi-messenger approach), so all major experiments expand the number of registered components of the shower (Pierre Auger Observatory develops a radio method, Telescope Array plans a network of ground-based detectors of Cherenkov radiation). The new experiments (TAIGA, LHAASO, etc.) are initially planned to be hybrid, unlike the first large experiments focused on one component of the shower (AGASA scintillation detectors, HiRes fluorescent telescopes). New methods, which are not widely used nowadays, are also being developed: the radio method used in TAIGA and AUGER, dense high-altitude detectors (HAWC), angular resolution detectors (PAMIR-XXI), satellite optical detectors (KLPVE). A separate area of research is to provide a possible cross-calibration of existing experiments to build a common, the most complete spectrum and test models of hadron interactions (which has already been done purely mathematically, without any physical justification [10], and this extensions require experimental verification). In this regard, the development of a new method of EAS registration, that combines new methods of registration (registration of reflected Cherenkov light with a continuous registration area, registration of the angular distribution of Cherenkov light) and new means of registration (silicon photomultipliers) seems very relevant.

- [1] D.M. Edge et al., J. Phys. A, 6, p 1612 (1973)
- [2] G. Brooke et al., Proceedings of the 19th International Cosmic Ray Conference, La Jolla, USA, Vol. 2, p.150 (1985)
- [3] G.I. Rubtsov, L.G. Dedenko, G.F. Fedorova, E.Yu. Fedunin, A.V. Glushkov, D.S. Gorbunov, I.T. Makarov, M.I. Pravdin, T.M. Roganova, I.E. Sleptsov and S.V. Troitsky "Upper limit on the ultra-high-energy photon flux from AGASA and Yakutsk data" // Phys.Rev.D , 73, P. 063009 (2006), arXiv:astro-ph/0601449v1
- [4] K. Shinozaki, M. Teshima for AGASA Collaboration, "AGASA Results", Nucl. Phys. B (Procc. Suppl.) 136, 18-27 (2004)
- [5] D.J. Bird, S.C. Corbato, H. U. Dai et al., "The cosmic-ray spectrum observed by the fly's eye", Astrophys. J. 424, 491-502 (1994)
- [6] D.R. Bergman on behalf of the High Resolution Fly's Eye Collaboration, "Observation of the GZK Cutoff Using the HiRes Detector", arXiv:astro-ph/0609453v1 (15 Sep 2006)
- [7] G. Matthiae on behalf of the Pierre Auger Collaboration, "New results from the Auger Observatory", Invited talk at NO-VE IV International Workshop on "Neutrino Oscillations in Venice" arXiv:0807.1024v1 [astro-ph] (2008)
- [8] F. Schussler for the Pierre Auger Collaboration, "Measurement of the cosmic ray energy spectrum above 1018 eV using the Pierre Auger Observatory", 31st International Cosmic Ray Conference, (Lodz, Poland), arXiv:0906.2189v2 [astro-ph.HE] (10 Jul 2009)
- [9] Telescope Array Collaboration, R. Abbasi et al., "Search for EeV Protons of Galactic Origin," Astropart. Phys. 86 (2017) 21–26, Pierre Auger Collaboration, A. Aab et al., "Large-scale cosmic-ray anisotropies above 4 EeV measured by the Pierre Auger Observatory," Astrophys. J. 868 no. 1, (2018)
- [10] Dawson B. et al. The energy spectrum of cosmic rays at the highest energies //EPJ Web of Conferences 53, 01005 (2013)

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

на русском языке

Целью проекта является получение научного знания о химическом составе первичных космических лучей (ПКЛ) в области энергий 1-1000 ПэВ методом регистрации отраженного черенковского света (ЧС) широких атмосферных ливней (ШАЛ).

Для достижения поставленной цели планируется решить следующие задачи:

- 1) Проектирование и изготовление компактного детектора с использованием кремниевых фотоумножителей для регистрации отраженного ЧС ШАЛ;
- 2) Установка детектора на беспилотном летательном аппарате (БПЛА, дрон);
- 3) Написание программного кода функционирования аппаратуры детектора и сбора данных;
- 4) Проведение испытаний комплекса измерительной аппаратуры и БПЛА.
- 5) Проведение регистрации событий ЧС ШАЛ отраженного от снежной поверхности льда озера Байкал.
- 6) Моделирование и восстановление характеристик ШАЛ и оценка химического состава ПКЛ по функции пространственного распределения отраженного ЧС и прямого ЧС;
- 7) Подготовка проекта нового детектора с увеличенной светосилой и большим пространственным разрешением фотоприёмника.

на английском языке

The aim of the project is to measure the chemical composition of primary cosmic rays (PCR) in the energy range of 1-1000 PeV by registering the reflected Cherenkov light (CL) of extensive air showers (EAS)

To achieve this goal it is planned to:

- 1) Design and manufacture a compact detector using silicon photomultipliers for registration of reflected EAS CL;
- 2) Install the detector on an unmanned aerial vehicle (UAV, drone);
- 3) Prepare programs and firmware for the detector equipment and data collection systems;
- 4) Test the measuring equipment and UAV.
- 5) Perform test measurements of EAS CL reflected from the snow surface of lake Baikal ice.
- 6) Model and reconstruct the EAS characteristics to estimate the mass composition of PCR using lateral distribution functions of the reflected and direct CL;
- 7) Prepare the design of a new detector with an increased aperture and larger spatial resolution of the photodetector.

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

на русском языке

В опубликованных результатах установки СФЕРА-2 было показано, что метод регистрации отраженного от снежной поверхности ЧС ШАЛ достаточно эффективен и может быть использован не только для восстановления энергии первичных космических лучей, но и для определения химического состава ПКЛ. Проведенные исследования показали, что данный метод позволяет достичь высокой точности оценки химического состава ПКЛ при анализе индивидуального события ШАЛ [arXiv:1503.04998]. В настоящее время не существует других установок, которые бы успешно использовали методику регистрации отраженного ЧС ШАЛ.

К сожалению, в ходе работ с установкой СФЕРА-2 не получилось в полном объеме реализовать все возможности метода. Недостатком проведенных измерений с установкой СФЕРА-2 было малое число зарегистрированных событий, а, следовательно, недостаточная статистическая достоверность результатов о химическом составе. Это стало следствием двух основных причин. Первая причина заключается в низкой чувствительности матрицы использовавшихся ФЭУ. Малая чувствительная площадь и низкая квантовая эффективность фотокатода примененных ФЭУ-84 сократило, относительно планировавшихся для Hamamtsu R3886, ожидаемый статистический материал более чем в 5 раз из-за увеличения энергетического порога регистрации. Второй причиной послужили технические сложности связанные с необходимостью поддержания аэростата в рабочем состоянии для осуществления многократных запусков установки. Каждый сеанс измерений длительностью 10 дней требовал транспортировки к месту проведения измерений не менее 6 тонн груза с гелиевыми баллонами, поэтому в год удавалось провести не более одного сеанса. В то время, как в условиях зимы возможно проведение до 5 сеансов в год.

Данный проект основан на идее возможности более эффективного и менее затратного способа реализации методики регистрации отраженного ЧС ШАЛ для достижения поставленной научной цели - получения научного знания о химическом составе ПКЛ в области энергий 1-1000 ПэВ.

Разработка аппаратуры установки СФЕРА-2 была проведена в период 2005-2010 годов с использованием существующих на тот момент времени электронных комплектующих и материалов. В настоящее время с увеличением функциональности и миниатюризацией электроники, а также с появлением новых кремниевых фотоумножителей

становится возможным воспроизвести описанные в этой работе конструкторские решения более простыми и эффективными способами. Применение кремниевых фотоумножителей и современных электронных комплектующих позволят уменьшить массу аппаратуры как минимум в 10 раз. В свою очередь, малая масса установки позволит отказаться от громоздкого и трудоёмкого в использовании аэростата и применить беспилотные летательные аппараты (БПЛА, дроны) в качестве носителя. Такая постановка эксперимента, в области изучения ПКЛ сверхвысоких энергий никогда ранее не применялась. Сейчас в области астрофизики космических лучей сверхвысоких энергий БПЛА используются только для решения вспомогательных задач: контроля атмосферы и калибровки наземных детекторов.

Таким образом, новизна предлагаемого исследования заключается в разработке более совершенного и простого в использовании детектора для получения статистически обеспеченных данных о химическом составе ПКЛ в области энергий 1-1000 ПэВ.

на английском языке

In the published results of the SPHERE-2 experiment it was shown that the method of registration of the Cherenkov light (CL) from EAS reflected from the snow surface is quite effective and can be used not only to reconstruct the energy of primary particles, but also to determine the chemical composition of PCR. Studies have shown that this method allows to achieve high accuracy of the PCR particles type reconstruction in the analysis of individual events [arXiv: 1503.04998]. Currently, there are no other installations that would successfully use the method of registration of reflected CL from EAS.

Unfortunately, the SPHERE-2 experiment failed to fully utilize all the possibilities of the method. The disadvantage of the measurements with the SPHERE-2 detector was a small number of recorded events, and, therefore, insufficient statistical reliability of the results on the chemical composition. This was due to two main reasons. The first reason is the low sensitivity of the matrix used by the PMT. The small sensitive area and low quantum efficiency of the FEU-84 PMT, used in the detector instead of the planned Hamamatsu R3886, reduced the expected statistical material by more than 5 times due to the increase in the energy threshold of registration. The second reason was the technical difficulties associated with the need to maintain the balloon in working condition for the multiple launches of the detector. Each 10-day measurement session required at least 6 tons of cargo with helium cylinders to be transported to the measurement site, so no more than one session was possible per year. While in winter it is possible to hold up to 5 sessions per year.

The presented new project is based on the idea of a more efficient and less expensive way to implement the method of registration of reflected CL from EAS and to obtain more data on the chemical composition of PCR in 1-1000 PeV energy range.

The design and development of the SPHERE-2 detector was carried out in the period 2005-2010 with the use of electronic components and materials existing at that time. Currently, with the increase in functionality and miniaturization of electronics, as well as with the advent of new silicon photomultipliers, it is possible to reproduce the design solutions described in this work in simpler and more efficient ways. The use of silicon photomultipliers and modern electronic components will reduce the weight of the equipment at least 10 times. In turn, the small mass of the detector will allow to abandon the cumbersome and time-consuming in use balloon and switch to the unmanned aerial vehicle (UAVs, drones) as a carrier. This experimental setup has never been used before in the study of ultra high energy PCR. Currently, in the field of ultrahigh energy cosmic rays astrophysics, UAVs are used only for solving auxiliary tasks: monitoring the atmosphere and calibrating ground detectors.

Thus, the novelty of the proposed study lies in the development of a more advanced and easy-to-use detector for obtaining statistically reliable data on the chemical composition of PCR in the 1-1000 PeV energy range.

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

на русском языке

Поток первичных ядер космических лучей сверхвысоких энергий (>1 ПэВ) настолько мал, что прямые наблюдения с помощью современных аэростатных и орбитальных детекторов не позволяют детально исследовать спектр и состав первичных космических лучей (ПКЛ) при таких энергиях. Поэтому вся информация о космических лучах сверхвысоких энергий, накопленная к настоящему моменту, получена косвенными методами — по компонентам широких атмосферных ливней (ШАЛ).

Как известно, характеристики ШАЛ подвержены сильным флуктуациям, что создает дополнительные трудности при исследовании ядерного состава ПКЛ. Кроме того, результаты реконструкции массового состава зависят от принятой модели ядро-ядерного взаимодействия при сверхвысоких энергиях. В настоящее время данные коллайдеров доступны до эквивалентных энергий ~ 100 ПэВ/нуклон; при более высоких энергиях модельная зависимость результатов исследования ядерного состава ПКЛ возрастает.

За более чем полувековую историю исследования ПКЛ сверхвысоких энергий методом ШАЛ накоплена значительная информация об энергетическом спектре всех ядер, установлено постоянство их потока во времени и практическая изотропия, но сведения об их массовом составе остаются довольно скромными. В последнее десятилетие представление мирового экспериментального сообщества о массовом составе космического излучения активно развивалось. Ситуацию с массовым составом десять лет назад хорошо характеризует сводная диаграмма «средний логарифм массового числа в зависимости от логарифма первичной энергии», приведённая в [1].

Экспериментальные данные различных групп на диаграмме отличаются радикально, приводимые авторами неопределённости часто оказываются гораздо меньше этих различий. Уже тогда возникло предположение о недооценке или полном игнорировании систематических погрешностей. Впоследствии предположение подтвердилось: некоторые эксперименты отказываются раскрывать свои систематические погрешности. Интересно, что авторы одной из работ [2] на 35-ой Международной конференции по космическим лучам закончили свою презентацию призывом к экспериментальным группам: пожалуйста, публикуйте систематические погрешности!

Природа возникновения погрешностей может заключаться как в применяемой методике измерений, так и в используемых детекторах. Например, для регистрации черенковского света в наземных установках (см. п 4.2) применяют фотоэлектронные умножители (ФЭУ) со сферическим фотокатодом. Данные ФЭУ имеют большую площадь фотокатода и чувствительность. Однако, чувствительность в разных точках фотокатода может отличаться 10 раз [3]! Конечно, черенковский свет, как правило, падает на весь фотокатод, но это лишь уменьшает зенитную и азимутальные неоднородности чувствительности до 50% в зависимости от экземпляра ФЭУ. Для широкоугольных телескопов (>30 град.) неоднородность может быть ещё больше. Откалибровать эти неоднородности практически невозможно из-за высокой чувствительности этих приборов к магнитному полю. Если закрепить точечный источник света на фотокатод такого ФЭУ и начать его вращать, то выходной сигнал начнет сильно флуктуировать. Амплитуда может флуктуировать до 3 раз! Провести калибровку каждого детектора после установки на телескоп технически крайне сложно. Таким образом в большинстве применяемых до настоящего времени детекторах точность измерения потока черенковского света не превышает 50% для одного детектора в индивидуальном событии. Это обстоятельство сильно затрудняет определение химического состава наземными черенковскими телескопами так как различия между событиями от разных групп ядер весьма малы.

Постепенно результаты различных экспериментов сближаются под влиянием модельных представлений об ускорении и распространении космических лучей в Галактике и их проникновении из Метагалактики. В частности, в области колена ($\sim 1-10$ ПэВ) доминирует модель предельной энергии ускорения в источниках, пропорциональной заряду ядра Z , предполагающая ряд коленообразных особенностей в спектрах отдельных ядер, сдвигающихся в сторону больших энергий с увеличением Z . На сегодня диаграмма «массовое число – первичная энергия» из [4] выглядит не столь противоречиво, как «средний логарифм массового числа в зависимости от логарифма первичной энергии» из [1], но значительные расхождения данных разных групп остаются.

Традиционно оценка уже упомянутого среднего логарифма массового числа методом широких атмосферных ливней проводится двумя разными способами: а) по отношению N_e/N_μ электронного размера ливня к мюонному и б) по глубине максимума развития ливня X_{\max} . Оба параметра нельзя назвать непосредственно наблюдаемыми без оговорок. Наиболее прямой способ измерения X_{\max} – наблюдения флуоресцентного света ШАЛ, доступный при первичных энергиях выше 100 ПэВ [5]. Однако, не наблюдаемый непосредственно X_{\max} используют для оценки первичной массы и при меньших энергиях, например, при регистрации черенковского света. В этом случае X_{\max} получается из непосредственно наблюдаемых характеристик ливня (пространственного или временного распределения черенковского света) по расчётным формулам, например, по регрессионным соотношениям, построенным на основе статистического моделирования ШАЛ. Таким образом, X_{\max} выступает здесь в качестве промежуточного параметра между измеренными величинами и массой первичной частицы, что не может не сказаться на погрешности её оценки. К тому же оценка массы обоими традиционными способами зависит от модели ядерного

взаимодействия при сверхвысоких энергиях.

Сегодня уже не вызывает сомнений тот факт, что традиционные параметры ШАЛ, используемые для оценки первичной массы, не являются наиболее чувствительными. Ясно также, что поиск новых критериев надо вести среди непосредственно измеряемых параметров ШАЛ с помощью современных статистических методов [6]. Было также показано преимущество полученных критериев перед широко используемым параметром X_{\max} . В эксперименте СФЕРА-2 в качестве критериального параметра используется аккуратно выбранный показатель формы поперечного распределения черенковского света, который тем не менее может быть подвергнут дальнейшей оптимизации. Необходимо будет также рассмотреть и альтернативные критерии формы поперечного распределения черенковского света, в том числе – многомерные.

Есть все основания полагать, что противоречивые результаты изучения массового состава ПКЛ в разных эксперимента являются следствием существенной недооценки информационной ёмкости проблемы: по традиции при планировании экспериментов она ставится в один ряд с проблемами исследования энергетического спектра и распределения ПКЛ по направлениям, хотя, как теперь уже совершенно ясно, задача определения массового состава требует гораздо более детальных знаний о каждом отдельном событии. Черенковский свет ШАЛ способен дать такую информацию на основании детального статистического моделирования как широкого ливня, так и процессов его взаимодействия с детекторами.

Список литературы

- [1] Y. Tsunesada, F. Kakimoto, F. Furuhashi, et al. (The BASJE Collab.), Proc. 30th ICRC (Merida) 4, 127 (2008).
- [2] H. Dembinski, A. Fedynitch, T. Gaisser, et al. Data-driven model of the cosmic ray flux and composition from 10 GeV to 10^{11} GeV, Proc. 35th ICRC (2017) Busan, Korea, CRI140.
- [3] P. Vanegas, R. Langerica, G. Lara, et al, Characterization of the HAWC R5912 photomultipliers, Proc. 33th ICRC (2013), Rio de Janeiro, Brazil.
- [4] A. Sabourov, A. V. Glushkov, M. I. Pravdin, et al, Mass composition of cosmic rays with energy above 10^{17} eV according to the data of surface detectors of Yakutsk EAS array, Proc. 35th ICRC (2017) Busan, Korea, CRI014.
- [5] R.U. Abbasi, M. Abey, T. Abu-Zayyad. The energy spectrum of cosmic rays above $10^{17.2}$ eV measured by the fluorescence detectors of the Telescope Array experiment in seven years. Astroparticle Physics, 80, 2016, P. 131-140
- [6] N.P. Topchiev, A.S. Borisov, V.V. Batraev, et al, Designing of a comprehensive high altitude EAS array for primary particle determination within the PAMIR-XXI project, Proc. 35th ICRC (2017) Busan, Korea, CRI307.

на английском языке

The flux of primary nuclei of ultrahigh energy cosmic rays (>1 PeV) is so small that direct observations with the help of modern balloon and orbital detectors do not allow to study in detail the spectrum and composition of primary cosmic rays (PCR) at such energies. Therefore, all information about cosmic rays of ultrahigh energies accumulated to date was obtained by indirect methods - by registration of extensive air showers (EAS) components.

As it is known, the characteristics of EAS are subject to strong fluctuations, which creates additional difficulties in the study of the mass composition of PCR. In addition, the results of the reconstruction of the mass composition depend on the accepted model of the hadron interactions at ultrahigh energies. Currently, collider data are available up to equivalent energies of ~ 10 - 100 PeV/nucleon; at higher energies the due to models extrapolations the differences in the results of the PCR mass composition increase.

In more than half a century of the PCR studies history using EAS method the significant amount of information about the energy spectrum of all nuclei has been accumulated, the total flux stability over time and strong isotropy have been firmly established. But the information about their mass composition remains quite modest. In the last decade, the world scientific community actively studied and developed models of the PCR mass composition. The situation with the mass composition ten years ago is well characterized by the summary diagram "the average logarithm of the mass number depending on the logarithm of the primary energy", given in [1].

The experimental data of the different groups in the diagram differ drastically, the uncertainties presented by the authors are often much smaller than these differences. Even then there was an assumption of underestimation or complete disregard of systematic errors. Subsequently, the assumption was confirmed: some experiments refuse to disclose their systematic errors. Interestingly, the authors of one of the papers [2] at the 35th International conference on cosmic rays ended their

presentation with an appeal to experimental groups: please publish systematic errors!

The nature of the errors may be both in the measurement technique used and in the detectors used. For example, to register Cherenkov light in ground installations (see p 4.2), photoelectronic multipliers (PMT) with a spherical photocathode are used. These PMTs have a large photocathode area and good sensitivity. However, the sensitivity is not uniform and at different points of the photocathode may differ up to 10 times [3]! Of course Cherenkov light falls on the entire photocathode, but this only reduces the zenith and azimuth inhomogeneities of sensitivity to 50% depending on individual PMT properties. For wide-angle telescopes (>30 deg.) the inhomogeneity can be even greater. It is almost impossible to calibrate these telescopes due to the high sensitivity of these instruments to the magnetic field. If you fix a point light source on the photocathode of such PMT and start rotating it, the output signal will begin to fluctuate greatly. The amplitude can fluctuate up to 3 times! Calibration of each detector after installation on the telescope is technically extremely difficult. Thus, in most detectors used to date, the accuracy of measuring the Cherenkov light flux is not better than 50% for a single detector in an individual event. This level of uncertainty will make the study of the PCR mass composition difficult using ground Cherenkov telescopes, since differences between events from different groups of nuclei are very small.

Gradually, in last years, the results of various experiments converge under the influence of model ideas about the acceleration and propagation of cosmic rays in the Galaxy and their penetration from the Metagalaxy. In particular, in the knee region ($\sim 1-10$ PeV), the model of the limiting acceleration energy in sources proportional to the charge of the nucleus (Z) is presently commonly accepted and suggests appearance of a number of knee-like features in the spectra of individual nuclei that shift towards higher energies with increasing Z . Today, the diagram "mass number – primary energy" from [4] does not look as contradictory as the "average logarithm of the mass number depending on the logarithm of the primary energy" from [1], but significant discrepancies between the data of different experimental groups remain.

Traditionally, the estimation of the above mentioned average logarithm of mass number by the method of extensive air showers is carried out in two different ways: a) using N_e/N_μ ratio - the size of shower in electrons and in muons and b) using the depth of shower maximum X_{\max} . Both parameters cannot be called "directly observable" without some restrictions. The most direct way to measure X_{\max} is to observe the fluorescent light from EAS - a method available at primary energies above 100 PeV [5]. However, not directly observed X_{\max} is used to estimate the primary mass and at lower energies, for example, using Cherenkov light. In this case, X_{\max} is obtained from the directly observed characteristics of the shower (spatial or temporal distribution of Cherenkov light) by numerical ratios, for example, by regression relations constructed on the basis of some statistics of modelled EAS. Thus, X_{\max} acts here as an intermediate parameter between the measured values and the mass of the primary particle, which cannot but affect the error of its estimation. In addition, the mass estimation by both traditional methods depends on the model of hadron interaction at ultrahigh energies.

Today, there is no doubt that the traditional EAS parameters used to estimate the primary particle mass are not the most sensitive. It is also clear that the search for new criteria should be conducted among the directly measured parameters of the EAS with the help of modern statistical methods [6] (the advantage of the obtained in that paper criteria over the widely used X_{\max} parameter was also shown). In the experiment SPHERE-2 a carefully selected indicator of the shape of the lateral distribution of Cherenkov light is used, which can nevertheless be subjected to further optimization. It is also necessary to consider alternative criteria for the shape of the Cherenkov light lateral distribution, including multidimensional ones.

There is every reason to believe that the contradictory results of studying the mass composition of PCR in different experiments are the result of a significant underestimation of the information capacity of the problem: traditionally, when planning experiments, it is put on a par with the problems of studying the energy spectrum and distribution of PCR in arrival directions, although, as is now quite clear that the task of determining the mass composition requires much more detailed knowledge about each individual event. EAS Cherenkov light is able to give such information on the basis of detailed statistical modeling of both the shower and the processes of its interaction with detectors.

[1] Y. Tsunesada, F. Kakimoto, F. Furuhashi, et al. (The BASJE Collab.), Proc. 30th ICRC (Merida) 4, 127 (2008).

[2] H. Dembinski, A. Fedynitch, T. Gaisser, et al. Data-driven model of the cosmic ray flux and composition from 10 GeV to 10^{11} GeV, Proc. 35th ICRC (2017) Busan, Korea, CRI140.

[3] P. Vanegas, R. Langerica, G. Lara, et al, Characterization of the HAWC R5912 photomultipliers, Proc. 33th ICRC (2013), Rio de Janeiro, Brazil.

[4] A. Sabourov, A. V. Glushkov, M. I. Pravdin, et al, Mass composition of cosmic rays with energy above 10^{17} eV according to the data of surface detectors of Yakutsk EAS array, Proc. 35th ICRC (2017) Busan, Korea, CRI014.

[5] R.U.Abbasi, M.Abeb, T.Abu-Zayyad. The energy spectrum of cosmic rays above $10^{17.2}$ eV measured by the fluorescence detectors of the Telescope Array experiment in seven years. *Astroparticle Physics*, 80, 2016, P. 131-140

[6] N.P. Topchiev, A.S. Borisov, V.V. Batraev, et al, Designing of a comprehensive high altitude EAS array for primary particle determination within the PAMIR-XXI project, *Proc. 35th ICRC (2017) Busan, Korea, CRI307*.

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

В современных установках, для регистрации первичных космических лучей (ПКЛ) сверхвысоких энергий диапазона выше 1 ПэВ возможно применение лишь косвенных методов. По сути, установки способны регистрировать только следы от столкновения первичной частицы с атомами газов атмосферы. Ядерная реакция от столкновения порождает расходящийся каскад вторичных частиц — широкий атмосферный ливень (ШАЛ). Он состоит из адронов, мюонов, электронов и гамма-квантов и трех видов излучения: Вавилова-Черенкова, флуоресцентного света и радиоизлучения.

Для восстановления характеристик ПКЛ в данном проекте планируется регистрировать излучение Вавилова-Черенкова - черенковский свет (ЧС). Полный поток ЧС от ШАЛ слабо зависит от модели ядро-ядерного взаимодействия (менее 5%) и пропорционален энергии первичной частицы, образовавшей ШАЛ. Поэтому систематические ошибки определения первичной энергии по ЧС существенно ниже, чем по заряженной компоненте ШАЛ. Измерить полный поток ЧС наземными установками нельзя из-за небольших размеров детекторов. В таких установках измеряется только плотность потока черенковских фотонов в детекторах установки, удаленных друг от друга на большие расстояния порядка десятков или сотен метров. Решить проблему можно с помощью установки, поднятой над заснеженной поверхностью земли и регистрирующей отраженный от поверхности черенковский свет ШАЛ. В этом случае измеряется сигнал пропорциональный полному потоку черенковского света ШАЛ, а значит и энергии космической частицы. Этот уникальный калориметрический метод реализуется только в эксперименте СФЕРА [1,2]. Он позволяет достичь высокой точности измерений характеристик для индивидуального события по сравнению с методиками наземных установок, где определяются лишь средние значения для большого массива зарегистрированных событий.

Ранее было проведено моделирование: из банка 1200 смоделированных событий для ядер Fe и протонов отобраны события с близкими значениями глубины максимума развития каскада в атмосфере (X_{\max}). Для современных установок данные события являются «одинаковыми». Различить их можно только при условии хорошего энергетического разрешения и высокой точности регистрации плотности черенковского света в области оси ШАЛ для индивидуального события [3,4].

При использовании метода регистрации отраженного ЧС ШАЛ важную роль играют свойства снежной поверхности. Результаты изучения оптических свойств снега неоднократно публиковались несколькими группами ученых [5,6,7]. Результаты моделирования, приведенные в работе [6], показывают, что в диапазоне длин волн от 300 до 600 нм относительный коэффициент отражения для чистого снега стабилен в пределах 3% для зенитных углов источника света от 0 до 80 градусов. Из приведенных результатов и известной спектральной характеристики ЧС [8] можно сделать вывод, что снежная поверхность отражает ЧС с незначительными спектральными искажениями в диапазоне зенитных углов до 80 градусов и может быть использована в качестве экрана при регистрации ЧС ШАЛ. Подробный обзор работ о свойствах снега приведен в работе [2].

Кроме того, по сравнению с наземными черенковскими установками, регистрирующими прямой ЧС ШАЛ, снежная поверхность позволяет исключить влияние отражения света от стекла фотоэлектронных умножителей (ФЭУ). В современных приборах для измерения светового потока применяется так называемая «косинусная насадка» [9], изготавливаемая из полупрозрачного матового материала. Такая насадка, рассеивая падающий поток фотонов, позволяет исключить влияние зависимости коэффициента отражения от поверхности оптических элементов прибора от угла падения излучения [9,10]. При регистрации отраженного от снежной поверхности ЧС ШАЛ функцию «косинусной насадки» выполняет снег, что позволяет данному методу регистрации обеспечить измерения плотности ЧС с метрологической точностью.

Таким образом, метод регистрации отраженного ЧС имеет ряд преимуществ:

1) Позволяет обеспечивать значительную площадь регистрации ЧС ШАЛ при использовании небольшого прибора;

- 2) Наиболее точная оценка энергии ПКЛ в индивидуальном событии в сравнении с другими методами;
- 3) Поля зрения отдельных чувствительных элементов прибора покрывают существенную часть обозреваемой площади, что позволяет наблюдать ЧС ШАЛ в области оси ливня, как правило, недоступной наземным детекторам ЧС. Это обстоятельство существенно повышает точность оценки типа первичной частицы;
- 4) При изменении высоты подъёма детектора появляется возможность исследовать одни и те же участки спектра ПКЛ с различным разрешением (расстоянием между центрами полей зрения соседних чувствительных элементов), что позволяет контролировать величину систематических ошибок.

Авторским коллективом данного проекта получены уникальные результаты с использованием новой методики (см. п. 4.7). Хорошая методическая точность проведенных измерений открывает хорошие перспективы для разработки проектов новых экспериментов. На основе опыта эксплуатации установки СФЕРА-2, можно разработать детекторы превосходящие по своим возможностям многие наземные установки. Достоинства описанной методики и прогресс в области микроэлектроники уже в настоящее время позволяет проектировать компактный детектор отраженного ЧС ШАЛ с большой эффективной площадью регистрации, широким телесным углом обзора (для ПКЛ) и высоким пространственным разрешением. Действительно, если сравнить наземную установку с эффективной площадью около 1 км² и более, обслуживающей инфраструктурой и т.п., и компактный детектор массой до 10 кг с аналогичными характеристиками (геометрическим фактором), то становятся очевидными различия в объеме материальных и трудовых затрат для получения сравнимых научных результатов. Для установки с большой площадью регистрации затраты могут различаться в десятки и даже в сотни раз.

В ходе выполнения работ по данному проекту планируется разработать и изготовить компактный детектор, который будет иметь следующие характеристики:

- 1) Чувствительная площадь оптики (входное окно диафрагмы) до 0,1 м²;
- 2) Диаметр зеркала до 80 см;
- 3) Угол обзора оптической системы +/- 20 – 25 градусов;
- 4) Количество элементов мозаики 49 или 84 кремниевых ФУ;
- 5) Масса детектора до 10 кг;
- 6) Высота подъема детектора до 500 м;
- 7) Ожидаемое количество событий ШАЛ (при E₀=1-1000 ПэВ) до 10 000 за сезон.

В качестве носителя для детектора планируется использовать октокоптер DS1400 (<https://dronestroy.ru/catalog/>) или аналогичный. Время непрерывной работы этого носителя достигает 40 мин. Увеличение времени экспозиции достигается путем использования нескольких комплектов аккумуляторов. Для обеспечения непрерывности измерений на третий год реализации проекта запланировано изготовление второго детектора.

Для контроля плотности и прозрачности атмосферы может быть использован вспомогательный БПЛА квадрокоптер DS550 (<https://dronestroy.ru/catalog/>) с датчиками давления, температуры, влажности и лазерным лидаром. Кроме того, лидар будет использован для контроля отражения от снега. Лазерный контроль атмосферы и отражения от снега позволит повысить точность измерения плотности ЧС ШАЛ.

В детекторе будет использована оптическая система Шмидта. В данной системе центральная часть зеркала не задействована так как находится в тени от фотоприемника. Если сделать отверстие в центре зеркала и установить в него широкоугольный линзовый объектив со светосилой ~100 см², то появится возможность регистрировать прямой поток ЧС. Расчёты показывают, что для ШАЛ от ПКЛ ~1 ПэВ поток ЧС составляет ~100 фотонов на см² на расстоянии 100 м от оси ШАЛ. С учётом квантовой эффективности SiPM ~40% и потерях на оптических элементах до 75% можно зарегистрировать ~1000 фотоэлектронов. Сигналы от прямого ЧС и отраженного регистрируются отдельно так как приходят на детектор с разницей 3,3 мксек для высоты детектора 500 м. При оценке состава ПКЛ информацию о интенсивности прямого ЧС можно использовать в дополнение к данным об отраженном ЧС. Предполагается, что ШАЛ от первичного протона должен формировать световое пятно на фотоприемнике большего углового размера, чем от ядер Fe при одинаковой первичной энергии и глубине максимума развития каскада вторичных частиц. Планируется проведение исследования для определения эффективности и целесообразности регистрации прямого ЧС для достижения поставленной цели проекта.

Основным элементом новой установки будет сегмент из семи SiPM MicroFC-60035. Сегмент был разработан авторами

проекта при выполнении работ по гранту РФФИ 16-02-00777 (https://www.rfbr.ru/rffi/ru/project_search/o_2018110) [11]. Испытание матрицы из семи таких сегментов (49 SiPM) было успешно завершено в конце 2018 года. На каждом сегменте смонтированы семь предусилителей и датчик температуры для учёта влияния термоэмиссии. На каждом SiPM установлен светосборник CA10929_Boom-MC-W с шириной угловой характеристики ± 24 градуса 50% на половине амплитуды. В данном проекте планируется доработать и адаптировать разработанный ранее сегмент SiPM для использования в новой оптической системе.

Для регистрации аналоговых сигналов с SiPM будет изготовлена плата оцифровки на базе микросхемы 8-ми канального, быстрого аналого-цифрового преобразователя (FADC) ADS5296A. Период измерений этой микросхемы составляет до 12,5 нс при разрешении 12 бит и 10 нс при 10 битах. Схема включения этой микросхемы позволяет уменьшить время оцифровки в 2 раза при установке двух FADC на сегменте. Благодаря малым размерам микросхемы (9x9 мм) измерительная плата может быть установлена непосредственно на плату сегмента SiPM с помощью межплатного разъема. Такая компоновка позволяет значительно сократить массу и габариты детектора. Оцифрованные сигналы с каждого канала в последовательном коде передаются на по интерфейсу LVDS на модуль PicoZed - XC7Z030-1SBG485 с микросхемой программируемой логики. Эти микросхемы оснащены встроенным компьютером под управлением операционной системы Linux. Вся внутренняя логика работы измерительной системы и триггера для отбора событий записывается в микросхему в виде файла конфигурации в соответствии с программой на языке описания аппаратуры интегральных схем VHDL. Результаты измерений записываются на карту памяти micro-SD встроенного компьютера для последующей обработки.

При успешной реализации проекта планируется разработать более совершенный прибор с улучшенным пространственным разрешением и большей светосилой. Кроме того, возможно использование группировки из нескольких БПЛА для пропорционального увеличения геометрического фактора и статистической обеспеченности получаемых результатов. Применение водород-воздушных топливных элементов AT Energy (<http://atenergy.pro/products/energoobespechenie-bpla.html>) или бензиновых дронов DELTA H 1300 H (<http://дрон-охотник.рф>) с временем непрерывной работы до нескольких часов позволит значительно упростить процесс измерений и повысить эффективность сбора экспериментальных данных.

Общий план работ:

2020 год:

Расчёт параметров оптической системы Шмидта для детектора SiPM. Разработка конструкции облегченного сферического зеркала из углепластика. Разработка системы крепления зеркала с детектором SiPM, диафрагмой и узлами соединения с рамой летательного аппарата (дрона). Изготовление прототипов элементов конструкции. Закупка SiPM для изготовления мозаики детектора. Тестирование прототипов элементов электроники. Разработка программного обеспечения для управления измерительной аппаратурой детектора и сбора данных. Создание банка смоделированных событий ШАЛ с использованием пакета CORSIKA для различных моделей, типов первичной частицы и энергий. Разработка модели детектора. Проведение моделирования с целью оценки эффективности регистрации прямого ЧС для оценки химического состава ПКЛ.

Участие в научных мероприятиях и подготовке публикаций в журналах по теме проекта.

2021 год:

Изготовление тестового варианта зеркала, крепления мозаики SiPM и диафрагмы. Сборка мозаики SiPM. Монтаж и юстировка мозаики SiPM в фокальной поверхности зеркала. Сборка телескопа и установка на БПЛА. Проведение испытаний БПЛА, телескопа и методических измерений. Закупка комплекта SiPM для второго экземпляра мозаики детектора.

Участие в научных мероприятиях и подготовке публикаций в журналах по теме проекта.

2022 год:

Организация экспедиции для проведения измерений отраженного ЧС ШАЛ на озере Байкал. Предварительная обработка экспериментальных данных. Изготовление второго экземпляра телескопа: оптической системы, мозаики SiPM и монтаж на БПЛА. Разработка проекта нового телескопа с большим оптическим разрешением и длительным временем непрерывной регистрации (до нескольких часов).

Участие в научных мероприятиях и подготовке публикаций в журналах по теме проекта.

[1] D. V. Chernov, R. A. Antonov, T. V. Aulova, E. A. Bonvech, V. I. Galkin, T. A. Dzhatdov, D. A. Podgrudkov, and T. M. Roganova, "Detection of reflected Cherenkov light from extensive air showers in the SPHERE experiment as a method of

studying superhigh energy cosmic rays”, Physics of Particles and Nuclei, vol. 46, no. 1, pp. 60–93, 2015.

<http://dx.doi.org/10.1134/S1063779615010025>

перевод:

Д. В. Чернов, Р. А. Антонов, Т. В. Аулова, Е. А. Бонвеч, Т. А. Джатдоев, В. И. Галкин, Д. А. Подгрудков, and Т. М. Роганова, “Регистрация отражённого черенковского света ШАЛ в эксперименте <<СФЕРА>> как метод изучения космических лучей сверхвысоких энергий”, Физика элементарных частиц и атомного ядра, vol. 46, no. 1, pp. 115–166, 2015.

[2] Spatial and temporal structure of EAS reflected Cherenkov light signal

Antonov R.A., Bonvech E.A., Chernov D.V., Dzhatdov T.A., Galkin V.I., Podgrudkov D.A., Roganova T.M. в журнале Astroparticle Physics, издательство Elsevier BV (Netherlands), том 108, с. 24-39, <http://dx.doi.org/10.1016/j.astropartphys.2019.01.002>

[3] R. A. Anotov, T. V. Aulova, E. A. Bonvech, D. V. Chernov, T. A. Dzhatdov, M. Finger, V. I. Galkin, D. A. Podgrudkov, and T. M. Roganova, “Event-by-event study of CR composition with the SPHERE experiment using the 2013 data”, Journal of Physics: Conference Series, vol. 632, no. 012090, pp. 1–8, 2015. <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/632/1/012090>

[4] D. V. Chernov, R. A. Antonov, T. V. Aulova, P. S. Besshapov, E. A. Bonvech, V. I. Galkin, T. A. Dzhatdov, A. S. Petkun, D. A. Podgrudkov, T. M. Roganova, T. I. Sysoeva, M. Finger, M. Finger, and S. B. Shaulov, “Investigation of SPHERE-2 data sensitivity to chemical composition of primary cosmic rays,” Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics, vol. 79, no. 3, pp. 359–361, 2015. <http://dx.doi.org/10.3103/S1062873815030144>

перевод:

Д. В. Чернов, Р. А. Антонов, Т. В. Аулова, С. П. Бесшапов, Е. А. Бонвеч, В. И. Галкин, Т. А. Джатдоев, А. С. Петкун, Д. А. Подгрудков, Т. М. Роганова, Т. И. Сысоева, Ф. Мир, Ф. Мих, and С. Б. Шаулов, “Исследование чувствительности к химическому составу ПКЛ по данным установки СФЕРА-2,” Известия Российской академии наук. Серия физическая, vol. 79, no. 3, pp. 392–394, 2015. <http://dx.doi.org/10.7868/S036767651503014X>

[5] Кондратьев, К. Я. Альbedo и угловые характеристики отражения подстилающей поверхности и облаков. // Гидрометеиздат. - 1981.

[6] Warren S. Optical properties of snow. // Rev. Geophys. Space Phys. - 1980. - V.20. - P.67-89.

[7] Kokhanovsky A. Light Scattering Reviews 7: Radiative Transfer and Optical Properties of Atmosphere and Underlying Surface // Springer. - 2012. - P.151-187

[8] Doring, Michael and Bernlohr, K. and Hermann, G. And Hofmann, W. and Lampeitl, H., ‘Measurement of the Cherenkov light spectrum and of the polarization with the HEGRA IACT system’, 2001, astro-ph/0107149.

[9] Антонов В., Круглов О., Кузьмин, В. Приборы для измерения оптических параметров и характеристик светодиодов. // Полупроводниковая Светотехника. - ИД Файнстрит. - 2010. - Т.3. - С.26-31.

[10] Гуревич М.М. Фотометрия (теория, методы и приборы) // Энергоатомиздат. - 1983.

[11] Method of EAS’s Cherenkov and fluorescent light separation using silicon photomultipliers / E. Bonvech, T. Dzhatdov, Chernov D.V., Miroslav Finger, Michael Finger, V. Galkin, G. Garipov, V. Kozhin, D. Podgrudkov, A. Skurikhin, Journal of Physics: Conference Series, vol. 1181, p. 012025, 2019. <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1181/1/012025>.

на английском языке

In present day experiments for registration of the ultrahigh energy primary cosmic rays (PCR) in the range above 1 PeV it is possible to use only indirect methods. As a matter of fact, detectors are capable to register only traces from collision of a primary particle with atoms of the atmosphere. The nuclear reaction from the collision generates a wide cascade of secondary particles – an extensive air shower (EAS). It consists of hadrons, muons, electrons and gammas and three types of electromagnetic emissions: Vavilov-Cherenkov, fluorescent light and radio emission.

To reconstruct the PCR particle characteristics in this project it is planned to register the Vavilov-Cherenkov radiation - Cherenkov light (CL). The total flux of CL from EAS does not depend on hadron interactions model (less than 5%) and is proportional to the energy of the primary particle that formed the EAS. Therefore, systematic errors in the primary particle

energy estimations using CL are significantly lower than estimated done using the EAS charged component. It is impossible to measure the total CL flux using ground detectors because of their small size. In these detector arrays only the Cherenkov photons flux density is measured in the detectors separated from each other over long distances (tens or hundreds of meters). The problem can be solved with the help of a detector elevated above the snow-covered surface and registering the Cherenkov light from EAS reflected from the snow. In this case, the signal is measured proportional to the total Cherenkov light flux from EAS, and hence the energy of the primary particle. This unique calorimetric method was implemented only in the experiment SPHERE [1,2]. It allowed achieving high accuracy of the individual events characteristics reconstruction, comparing to other methods of ground detectors where only average values for a large set of the registered events are reconstructed.

A modeling was carried out: from the 1200 simulated events for primary Fe nuclei and protons the events with close values of the depth of shower maximum in the atmosphere (X_{\max}) were selected. For modern installations, these events are "similar". They can be distinguished only under the condition of good energy resolution and high accuracy of recording the density of Cherenkov light near the EAS axis for each individual event [3,4].

The properties of the snow surface play an important role when using the method of reflected CL registration. The results of the show optical properties studies have been repeatedly published by several groups [5,6,7]. The simulation results given in [6] show that in the wavelength range from 300 to 600 nm, the relative reflectance for pure snow is stable within 3% for the zenith angles of the light incidence from 0 to 80 degrees. From the above mentioned results and the known CL spectral characteristics [8] it can be concluded that the snow surface reflects the CL with minor spectral distortions in the range of zenith angles up to 80 degrees and can be used as a screen for the CL registration. A detailed review of the work on the snow properties is given in [2].

In addition, compared with ground Cherenkov detector arrays that register direct CL from EAS, the snow surface allows to exclude the influence of light reflection from the photoelectronic multipliers (PMT) glass. In modern detectors, the so-called "cosine nozzle", made of a translucent matte material, is used to measure the CL flux [9]. Such a nozzle scatters the incident photons and allows to exclude the influence of the dependence of the reflection coefficient from the surface of the detector optical elements on the photons incidence angle [9,10]. When registering the CL reflected from a snow surface, the snow performs the function of a "cosine nozzle", which allows this method of registration to provide measurements of the CL density with metrological accuracy.

Thus, the method of registration of the reflected CL has a number of advantages:

- 1) provides a significant area of CL registration using a compact device;
- 2) accurate estimation of PCR energy in an individual event in comparison with other methods;
- 3) the field of view of the individual sensitive elements of the device covers a significant part of the surveyed area, which allows observation the CL from EAS near the shower axis, usually inaccessible to ground-based CL detector arrays. This circumstance significantly increases the accuracy of the primary particle type estimation;
- 4) allows measurement of the same PCR energy range with different resolution (distance between the centers of the fields of view of neighboring sensing elements) using variation of the detector elevation, which allows you to control the magnitude of systematic errors.

The group of this project obtained unique results using this new technique (see 4.7). Good methodological accuracy of the measurements opens up good prospects for the development of projects for new experiments. Based on the operating experience of the SPHERE-2 detector, it is possible to develop detectors superior in their capabilities to many ground installations. Advantages of the described technique and progress in the field of microelectronics already allows design of the compact detector of the reflected CL from EAS with big effective area of registration, a wide viewing angle (for PCR) and high spatial resolution. Indeed, comparing a ground detector arrays with an effective area of about 1 km^2 and more, service infrastructure, etc., and a compact detector weighing up to 10 kg with similar characteristics (geometric factor), the differences in the amount of material and labor costs to obtain comparable scientific results become obvious. For an installation with a large registration area, the costs can vary by tens or even hundreds of times.

During the work on this project, it is planned to design and manufacture a compact detector that will have the following characteristics:

- 1) sensitive area of optics (aperture input window) up to $0,1 \text{ m}^2$;

- 2) mirror diameter up to 80 cm;
- 3) optical system viewing angle $\pm 20 - 25$ degrees;
- 4) number of mosaic elements 49 or 84 SiPM;
- 5) the mass of the detector up to 10 kg;
- 6) the flight height of the detector up to 500 m;
- 7) Expected number of events EAS (with $E_0=1-1000$ PeV) up to 10 000 for season.

As a detector carrier it is planned to use the DS1400 octocopter (<https://dronestroy.ru/catalog/>) or a similar drone. The continuous operation time of this drone reaches 40 minutes. The increase in exposure time is achieved by using several sets of batteries. To ensure the continuity of measurements in the third year of project implementation it is planned to manufacture the second detector.

To control the density and transparency of the atmosphere an auxiliary UAV can be used: quadcopter DS550 (<https://dronestroy.ru/catalog/>) with pressure, temperature, humidity sensors and laser lidar. In addition, lidar will be used to control the reflection from the snow. Laser control of the atmosphere and reflection from the snow will improve the accuracy of measuring the CL from EAS.

The detector will use the Schmidt optical system. In this system, the central part of the mirror is not used since it is in the shadow of the photodetector. A hole in the center of the mirror with a wide-angle lens in it with an aperture of $\sim 100 \text{ cm}^2$ will allow registration of the direct CL. Calculations show that for EAS from PCR ~ 1 PeV the CL photons density is ~ 100 photons per cm^2 at a distance of 100 m from the shower axis. Taking into account the SiPM quantum efficiency of $\sim 40\%$ and losses on optical elements up to 75%, ~ 1000 photoelectrons can be registered. Signals from the direct and reflected CL are recorded separately as they come to the detector with a difference of 3.3 microseconds for the detector height of 500 m. The estimation of the primary particle mass can use the information on the intensity of the direct CL in addition to the data on the reflected CL. It is assumed that the EAS from the primary proton should form a light spot on the photodetector of a larger angular size than from Fe nuclei at the same primary energy and depth of shower maximum. It is planned to conduct a study to determine the effectiveness and feasibility of registering a direct CL to achieve the project goal.

The main element of the new installation will be a segment of seven Sim Micro FC-60035 SiPMs. The segment was developed by the authors while performing works under RFBR grant 16-02-00777 (https://www.rfbr.ru/rffi/ru/project_search/o_2018110) [11]. The tests of a matrix of seven such segments (49 SiPM) was successfully completed at the end of 2018. Each segment was equipped with seven preamplifiers and a temperature sensor to account for the effects of thermal emission. Each SiPM was equipped with a light collector CA10929_Boom-MC-W with angular characteristic ± 24 degrees at 50% effectiveness. In this project, it is planned to modify and adapt the SiPM segment developed earlier for use in the new optical system.

To register analog signals from SiPMs, a digitization board based on the ADS5296A 8-channel fast analog-to-digital converter (FADC) chip will be manufactured. The measurement period of this chip is up to 12.5 ns at 12-bit resolution and 10 ns at 10-bit resolution. The board design allows to reduce time of digitization by a factor of 2 by installing two FADC on each SiPM. Due to the small size of the chip (9x9 mm), the measuring Board can be installed directly on the SiPM segment board using the inter-board connector. This arrangement allows significant reduction of the detector weight and dimensions. Digitized signals from each channel in serial code are transmitted to the LVDS interface on the PicoZed - XC7Z030-1SBG485 module with a programmable logic chip. These chips are equipped with a built-in computer running the Linux operating system. All internal logic of the measuring system and the trigger system is recorded in the chip as a configuration file in accordance with the program in the VHDL language of integrated circuit equipment description. The measurement results are recorded on the micro-SD memory card of the built-in computer for further processing.

With the successful implementation of the project, it is planned to develop a more advanced device with improved spatial resolution and greater aperture. In addition, it is possible to use a grouping of several UAVs to proportionally increase the geometric factor and statistical reliability of the results. The use of hydrogen-air fuel cells AT Energy (<http://atenergy.pro/products/energoobespechenie-bpla.html>) or DELTA H 1300 H gasoline drones (<http://дрон-охотник.рф>) with a continuous operation time of up to several hours will greatly simplify the measurement process and improve the efficiency of experimental data collection.

The General work plan.

2020

Calculation of the Schmidt optical system parameter for SiPM detector. Design and development of lightweight spherical mirror made of carbon fiber. Development of mounting systems for mirror, the SiPM detector, diaphragm and connection nodes to the carrier frame. Production of the structural elements prototypes. Purchase of SiPM to manufacture the detector mosaic. Testing of the electronics elements prototypes. Software development for detector measuring equipment control and data collection. Creation of a set of simulated EAS events using the CORSIKA package for different hadron interaction models, primary particle types, and energies. Development of the detector model in GEANT4. Calculations to estimate the effectiveness of direct CL registration for the PCR chemical composition studies.

Participation in scientific events and preparation of publications in journals on the topic of the project.

2021

Production of the test version of the mirror, SiPM mosaic and diaphragm mountings. SiPM mosaic assembly, installation and adjustment in the focal surface of the mirror. Assembly of the detector and its installation on the UAV. Testing of UAVs, telescope. Methodical measurements. Purchase of SiPM kit for the second prototype of the detector mosaic.

Participation in scientific events and preparation of publications in journals on the topic of the project.

2022

Organization of an expedition to measure the reflected CL from EAS on lake Baikal. Preliminary processing of experimental data. Production of the second copy of the telescope: optical system, mosaic SiPM and its installation on the UAV.

Development of a new telescope design with high optical resolution and long continuous recording time (up to several hours).

Participation in scientific events and preparation of publications in journals on the topic of the project.

[1] D. V. Chernov, R. A. Antonov, T. V. Aulova, E. A. Bonvech, V. I. Galkin, T. A. Dzhatdov, D. A. Podgrudkov, and T. M. Roganova, "Detection of reflected Cherenkov light from extensive air showers in the SPHERE experiment as a method of studying superhigh energy cosmic rays", *Physics of Particles and Nuclei*, vol. 46, no. 1, pp. 60–93, 2015
<http://dx.doi.org/10.1134/S1063779615010025>

[2] Spatial and temporal structure of EAS reflected Cherenkov light signal
Antonov R.A., Bonvech E.A., Chernov D.V., Dzhatdov T.A., Galkin V.I., Podgrudkov D.A., Roganova T.M. в журнале *Astroparticle Physics*, V. 108, P. 24-39
<http://dx.doi.org/10.1016/j.astropartphys.2019.01.002>

[3] R. A. Anotov, T. V. Aulova, E. A. Bonvech, D. V. Chernov, T. A. Dzhatdov, M. Finger, V. I. Galkin, D. A. Podgrudkov, and T. M. Roganova, "Event-by-event study of CR composition with the SPHERE experiment using the 2013 data", *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 632, no. 012090, pp. 1–8, 2015
<http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/632/1/012090>

[4] D. V. Chernov, R. A. Antonov, T. V. Aulova, P. S. Besshapov, E. A. Bonvech, V. I. Galkin, T. A. Dzhatdov, A. S. Petkun, D. A. Podgrudkov, T. M. Roganova, T. I. Sysoeva, M. Finger, M. Finger, and S. B. Shaulov, "Investigation of SPHERE-2 data sensitivity to chemical composition of primary cosmic rays," *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics*, vol. 79, no. 3, pp. 359–361, 2015
<http://dx.doi.org/10.3103/S1062873815030144>

[5] Kondrat'ev K. Ya. Albedo and angular properties of underlying surface and cloud reflectivity (in Russian) // Гидрометеоздат. - 1981

[6] Warren S. Optical properties of snow. // *Rev. Geophys. Space Phys.* - 1980 - V.20. - P.67-89.

[7] Kokhanovsky A. *Light Scattering Reviews 7: Radiative Transfer and Optical Properties of Atmosphere and Underlying Surface* // Springer. - 2012 - P.151-187

[8] Doring, Michael and Bernlohr, K. and Hermann, G. And Hofmann, W. and Lampeitl, H., 'Measurement of the Cherenkov light spectrum and of the polarization with the HEGRA IACT system', 2001, astro-ph/0107149.

[9] Antonov V., Kruglov O., Kuzmin V. Instruments for LED optical parameters and characteristics measurement // Полупроводниковая Светотехника. - PH Finestreet. - 2010 - V.3. - P.26-31.

[10] Gurevich M.M. Photometry (theory, methods and instruments) // Энергоатомиздат. - 1983

[11] Method of EAS's Cherenkov and fluorescent light separation using silicon photomultipliers / E. Bonvech, T. Dzhatdov, Chernov D.V., Miroslav Finger, Michael Finger, V. Galkin, G. Garipov, V. Kozhin, D. Podgrudkov, A. Skurikhin, Journal of Physics: Conference Series, vol. 1181, p. 012025, 2019.<http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1181/1/012025>.

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

Участники коллектива участвовали в успешной разработке и практической реализации нового, ранее в мировой практике не использовавшегося метода изучения ПКЛ в области 10-1000 ПэВ. Основная идея метода заключается в регистрации черенковского света ШАЛ, отраженного от заснеженной поверхности земли небольшим прибором, поднятым на аэростате над этой поверхностью. Метод был успешно реализован в аэростатном эксперименте с установкой СФЕРА-2 в период 2008-2013 гг. [1,2]. Установка СФЕРА-2 [1,3] была создана при поддержке РФФИ и РАН в НИИЯФ МГУ в 2006-2008 гг, основной частью которой является сферическое зеркало диаметром 1,5 м с мозаикой из 109-ти ФЭУ 84-3 в фокусе и 109-ти канальной электроникой регистрирующей анодный сигнал каждого ФЭУ с шагом 12,5 нс. Применение корректирующей диафрагмы Шмидта обеспечивает угол обзора ~0,75 стерadians.

Установка поднималась на привязном аэростате ночью в безлунное и безоблачное время над покрытой снегом поверхностью Земли на высоту до 1 км и регистрировала отраженный от снежной поверхности черенковский свет ШАЛ. Измерения проводились на базе Байкальского нейтринного стационара ИЯИ РАН, запуск установки проводился на льду озера Байкал на расстоянии 1 км от береговой линии. Было проведено 6 экспедиций в период с 2008 по 2013 годы. В настоящее время эксплуатация установки СФЕРА-2 завершена.

Общая экспозиция составила более 139 часов, зарегистрировано более 30 тыс. триггерных событий, из которых 1080 являются событиями от черенковского света ШАЛ. Получен дифференциальный энергетический спектр по данным 2011-2013 [1,4]. Определена зависимость доли легких ядер от энергии по данным 2012-2013 гг. [1]. Доля легких ядер (протон и гелий) при энергиях 20-100 ПэВ, усредненная по энергетическим бинам, составила около 20-25 %. Небольшое, по сравнению с наземными экспериментами, количество событий в эксперименте обусловлено высоким энергетическим порогом наблюдения отраженного черенковского света ШАЛ.

Коллектив авторов имеет опыт проведения полного прямого статистического моделирования отклика детектора СФЕРА-2 на ливни от первичных ядер с энергиями 10, 30 и 100 ПэВ и различными зенитными углами [5]. С помощью кодов CORSIKA/(QGSJET-I/GHEISHA) были рассчитаны пространственно-временные распределения черенковского света ШАЛ. Отражение света от снега, оптические эффекты, эффекты оцифровки сигнала электроникой детектора СФЕРА-2 и т.д. затем были учтены при моделировании модельных откликов детектора с использованием кода Geant4. Получена большая выборка функций пространственного распределения (ФПР) ливней, причем каждому пространственно-временному распределению черенковского света ШАЛ соответствует около 100 модельных откликов детектора в предположении различных положений оси ливня.

При выполнении работ по гранту РФФИ 16-02-00777 [6] (https://www.rfbr.ru/rffi/ru/project_search/o_2018110) с 2016 по 2018 годы участниками коллектива был создан прототип телескопа с использованием кремниевых ФЭУ (SiPM). Матрица из 49 SiPM была установлена в фокусе зеркала диаметром 67 см, входным окном диафрагмы площадью 0,1 кв.м и углом обзора +/- 10 градусов. Телескоп прошёл успешные испытания на базе Симеизской обсерватории РАН в Крыму. Было зарегистрировано более 2000 событий черенковского света ШАЛ и несколько сотен событий от альбедо при прохождении лазерного пучка (от лазерного дальномера) через атмосферу. В последнем случае имитировалась регистрация флуоресцентного света ШАЛ так как реальные события крайне редки. В сентябре 2019 года телескоп был доработан и установлен на базе Астрофизического комплекса TAIGA (Tunka Advanced Instrument for cosmic ray physics and Gamma-ray Astronomy). К настоящему моменту зарегистрировано уже более 100 тыс. событий. Опыт создания и эксплуатации детекторов черенковского света ШАЛ с использованием SiPM будет использован при реализации данного Проекта.

Результаты работы участников коллектива неоднократно докладывались на Всероссийских и международных конференциях, были опубликованы [1-6]. В процессе создания установки были защищены три работы на соискание степени кандидатов физ.-мат. наук, подготовлено несколько дипломных работ.

Список литературы.

- [1] Detection of reflected Cherenkov light from extensive air showers in the SPHERE experiment as a method of studying superhigh energy cosmic rays / D. V. Chernov, R. A. Antonov, T. V. Aulova et al. // Physics of Particles and Nuclei. — 2015. — Vol. 46, no. 1. — P. 60–93. DOI: 10.1134/S1063779615010025
- [2] Results on the primary CR spectrum and composition reconstructed with the SPHERE-2 detector / R. A. Antonov, S. P. Beschapov, E. A. Bonvech et al. // Journal of Physics: Conference Series. — 2013. — Vol. 409, no. 1. — P. 012088–012091. DOI:10.1088/1742-6596/409/1/012088
- [3] The led calibration system of the SPHERE-2 detector / R. A. Antonov, E. A. Bonvech, D. V. Chernov et al. // Astroparticle Physics. — 2016. — Vol. 77. — P. 55–65. DOI: 10.1016/j.astropartphys.2016.01.004
- [4] First detailed reconstruction of the primary cosmic ray energy spectrum using reflected Cherenkov light / R. A. Antonov, T. V. Aulova, S. P. Beschapov et al. // Proc. of 33 rd International Cosmic Ray Conference. — Rio de Janeiro: Centro Brasileiro de Pesquisas Fisicas Rio de Janeiro, 2014. — P. 1185–1188. http://lss.fnal.gov/conf2/C990817/h2_2_34.pdf
- [5] Spatial and temporal structure of EAS reflected Cherenkov light signal / R. A. Antonov, E. A. Bonvech, D. V. Chernov et al. // Astroparticle Physics. — 2019. — Vol. 108. — P. 24–39. DOI: 10.1016/j.astropartphys.2019.01.002
- [6] Method of EAS's Cherenkov and fluorescent light separation using silicon photomultipliers / E. Bonvech, T. Dzhatdov, Chernov D.V., Miroslav Finger, Michael Finger, V. Galkin, G. Garipov, V. Kozhin, D. Podgrudkov, A. Skurikhin, Journal of Physics: Conference Series, vol. 1181, p. 012025, 2019. <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1181/1/012025>.

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)

1. Имеются компьютеры, принтеры и др. офисное оборудование для подготовки статей, докладов и презентаций по теме Проекта.
2. У коллектива имеется доступ к научно-техническому центру приборостроения (НТЦП) НИИЯФ МГУ. В НТЦП имеются все необходимые станки и испытательные стенды для создания и тестирования детектора.
3. Имеется лабораторное оборудование (осциллографы, генераторы, блоки питания и др.) для тестирования и настройки электронных элементов установки.

4.9. План работы на первый год выполнения проекта (в том числе указываются запланированные командировки (экспедиции) по проекту) *на русском языке*

В 2020 году планируется:

- 1) Разработка технического проекта детектора: подбор элементной базы (микросхемы, электронные блоки и т.п.), электронных схем и печатных плат измерительной системы, оптической системы в целом и облегченного зеркала из углепластика.
- 2) Подготовка технического задания для доработки существующих БПЛА под задачи проекта и системы беспроводной связи.
- 3) Закупка электронных комплектующих и материалов для создания прототипов детектора.
- 4) Тестирование прототипов элементов электроники.
- 5) Разработка программного обеспечения: для управления измерительной аппаратурой детектора и сбора данных, обработки экспериментальных данных.
- 6) Создание банка смоделированных событий ШАЛ с использованием пакета CORSIKA для различных моделей, типов первичной частицы и энергий. Разработка модели детектора и триггерного условия для регистрации событий.
- 7) Проведение моделирования с целью оценки эффективности регистрации прямого ЧС для оценки химического состава ПКЛ.

на английском языке

In 2020 it is planned:

- 1) The development of the technical design of the detector: selection of the element base (chips, electronic components,

etc.), electronic circuits and printed circuit boards of the various system, the optical system as a whole and a lightweight carbon fiber mirror.

- 2) Preparation of technical specifications for the improvement of existing UAVs for the project and wireless communication system.
- 3) Purchase of electronic components and materials for prototyping the detector.
- 4) Testing of prototypes of electronic components.
- 5) Software development: control of detector measuring equipment and data acquisition, experimental data processing.
- 6) Create a set of simulated EAS events using the CORSIKA package for different models, primary particle types and energies. Development of a model of the detector and trigger conditions for event registration.
- 7) Calculations to estimate the effectiveness of direct CL registration for the PCR chemical composition studies.

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

Бонвеч Елена Алексеевна - разработка программного обеспечения бортового компьютера детектора: алгоритм работы, формат записи данных, взаимодействие с периферийными устройствами. Участие в подготовке публикаций.

Галкин Владимир Игоревич - разработка математической модели системы регистрации детектора; проведение моделирования с целью оценки эффективности регистрации прямого ЧС для оценка химического состава ПКЛ. Создание банка моделированных событий ШАЛ с использованием пакета CORSIKA для различных моделей, типов первичной частицы и энергий. Участие в подготовке публикаций. Анализ информативности пространственного/углового распределения света или различий характеристик света для разных моделей. Создание математической модели работы системы выделения полезных сигналов из фона (выработка триггерного сигнала) на основе банка модельных событий.

Подгрудков Дмитрий Аркадьевич - разработка программного обеспечения для восстановления характеристик ШАЛ (и ПКЛ) по данным зарегистрированных событий прототипа (модельных и реальных); расчёт геометрического фактора, эффективности регистрации, энергетического разрешения, отклика детектора на смоделированные ШАЛ. Расчёт оптической системы, лазерного контроля атмосферы и отражающей способности снежного покрова, разработка алгоритма работы системы светодиодной калибровки. Подготовка докладов и публикаций.

Чернов Дмитрий Валентинович - общее руководство; разработка технического проекта; проведение закупок оборудования и материалов; составление технического задания; тестирование и калибровка матрицы кремниевых ФЭУ. Подготовка конструкторской документации для изготовления печатных плат и монтажа электронных комплектующих систем измерения и управления детектора. Подготовка публикаций и отчётов.

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 ходе выполнения работ к концу первого года реализации проекта планируется:

- 1) Рассчитать необходимые параметры оптической системы телескопа;
- 2) Разработать и протестировать прототипы электронных блоков измерительной системы;
- 3) Изготовить элементы оптической системы (сегмент из 7-ми SiPM) и провести стендовые испытания (получить световые, угловые и температурные характеристики);
- 4) Подготовить схемы и чертежи конструкции БПЛА и детектора (телескоп, фотоприёмник, изм. электроника);
- 5) Сформировать банк моделированных событий ШАЛ и пакет программ моделирования детектора и электроники.
- 6) С помощью моделирования получить заключение об эффективности регистрации прямого ЧС для оценка химического состава ПКЛ;
- 7) Разработать предварительный вариант программного кода для управления и мониторинга работы детектора.

на английском языке

In the course of the work by the end of the first year of the project it is planned to:

- 1) Calculate the necessary parameters of the optical system of the telescope;
- 2) Develop and test prototypes of electronic components of the measuring system;
- 3) Make elements of optical system (a segment from 7 SiPM) and to carry out bench tests (to receive light, angular and

temperature characteristics);

4) Prepare diagrams and drawings of the design of the UAV and detector (telescope, photodetector, electronics);

5) Form a set of simulated EAS events and a package of detector and electronics simulation software.

6) Receive by means of modeling the conclusion on efficiency of the direct CL registration for estimation of chemical composition of PCR;

7) Develop a preliminary version of the program code for the control and monitoring of the detector.

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)*

Кремниевые ФЭУ для изготовления матрицы фотоприёмника (200 шт.).

Микросхемы, разъёмы, конденсаторы, резисторы и другие электронные комплектующие для создания измерительной электроники.

Высокопроизводительный компьютер для проведения моделирования и хранения данных.

Принтер 3D для макетирования элементов конструкции телескопа.

Переносной компьютер (ноутбук) для работы в командировках и экспедициях.

Лабораторный источник питания для тестирования электронных блоков.

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.

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.

Подпись руководителя проекта _____/Д.В. Чернов/

Форма 5. Запрашиваемое финансирование на 2020 год

5.1. Планируемые расходы по проекту

№ п.п.	Направления расходования гранта	Сумма расходов (тыс.руб.)
	ВСЕГО	6000
	Вознаграждение членов научного коллектива (с учетом страховых взносов во внебюджетные фонды, без лиц категории «вспомогательный персонал»)	2500
	Вознаграждение лиц категории «вспомогательный персонал» (с учетом страховых взносов во внебюджетные фонды)	0
1	Итого вознаграждение (с учетом страховых взносов во внебюджетные фонды)	2500
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	1350
5	Иные расходы для целей выполнения проекта	150
6	Накладные расходы организации (не более 10 процентов от суммы гранта)	600

5.2. Расшифровка планируемых расходов

№ п.п.	Направления расходования гранта, расшифровка
1	<p>Итого вознаграждение (с учетом страховых взносов во внебюджетные фонды)</p> <p>(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>Чернов Дмитрий Валентинович - 600 000 руб. Подгрудков Дмитрий Аркадьевич - 400 000 руб. Галкин Владимир Игоревич - 400 000 руб. Бонвеч Елена Алексеевна - 300 000 руб. Вайман Игорь Алексеевич - 200 000 руб. Николаев Алексей Станиславович - 200 000 руб. Кобякова Елизавета Андреевна - 200 000 руб. Латыпова Василиса Сергеевна - 200 000 руб.</p>
2	<p>Оплата научно-исследовательских работ сторонних организаций, направленных на выполнение научного проекта</p> <p>(приводится перечень планируемых договоров (счетов) со сторонними организациями с указанием предмета и суммы каждого договора)</p>
3	<p>Расходы на приобретение оборудования и иного имущества, необходимых для проведения научного исследования</p> <p>(представляется перечень планируемых к закупке оборудования и иного имущества, необходимых для проведения научного исследования (в соответствии с п. 4.12 формы 4))</p> <p>Сферическое зеркало облегченной конструкции на основе углепластиковых материалов для черенковского</p>

детектора - 300 000 руб.

Беспилотный летательный аппарат (БПЛА) для подъёма детектора - 400 000 руб.

Высокопроизводительный компьютер для проведения моделирования и хранения данных - 370 000 руб.

Принтер 3D для макетирования элементов конструкции детектора - 200 000 руб.

Переносной компьютер (ноутбук) для работы в командировках и экспедициях - 100 000 руб.

Лабораторный источник питания для тестирования электронных блоков детектора - 30 000 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))

Кремниевые ФЭУ для изготовления матрицы фотоприёмника (200 шт.) - 750 000 руб.

Микросхемы, разъёмы, конденсаторы, резисторы и другие электронные комплектующие - 400 000 руб.

Электронные платы системы измерения на основе быстрых АЦП и плата выработки триггерного условия на базе микросхем программируемой логики - 200 000 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)

Командировочные расходы - 150 000 руб.

Подпись руководителя проекта _____/Д.В. Чернов/

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.