**РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК**

**ПРОГРАММА ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**ПРЕЗИДИУМА РАН**

**Физика высоких энергий и нейтринная астрофизика**

Номер программы: I.23П

**Аннотационный отчет**

**за 2017 год**

**Москва 2018**

**«УТВЕРЖДАЮ»**

**Президент**

**Российской академии наук**

**академик А.М.Сергеев**

**« » 2018г.**

**ПРОГРАММА ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**ПРЕЗИДИУМА РАН**

**Физика высоких энергий и нейтринная астрофизика**

Номер программы: I.23П

**Аннотационный отчет**

**за 2017 год**

**Координатор программы**

**академик В.А.Рубаков**

**……………….(………………)**

Секретарь программы

Л.Б.Безруков

**……………….(………………)**

**Введение.**

Программа фундаментальных исследований президиума РАН «Физика высоких энергий и нейтринная астрофизика» в 2017 году включала в себя 32 проекта. Программу выполняли три головные организации: ИЯИ РАН, ФИАН и ФТИ им. Иоффе. В исследованиях участвовали 6 академиков, 8 членов-корреспондентов РАН, 260 научных сотрудников. В рамках этих проектов проводились экспериментальные исследования по физике высоких энергий и нейтринной астрофизике, ускорительной и не ускорительной физики частиц. Исследования поводились на ускорителе LHC(БАК) в международном европейском исследовательском центре CERN, на Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ РАН (БНО ИЯИ РАН), на Байкальской нейтринной обсерватории ИЯИ РАН и в других исследовательских центрах.

Важнейшими результатами 2017 года при выполнении данной темы являются:

В рамках программы работ по проекту создания на оз.Байкал глубоководного нейтринного телескопа Baikal-GVD c эффективным объемом порядка кубического км, выполнен монтаж и запуск в режиме постоянного набора данных второго кластера детектора в составе восьми гирлянд глубоководных оптических модулей (по 36 модулей на каждой). (ИЯИ РАН, ОИЯИ).

Международной коллаборацией GERDA с участием ИЯИ РАН, КИ, ИТЭФ и ОИЯИ создан детектор нового поколения с ультранизким фоном для поиска безнейтринного двойного бета-распада 76Ge. Об этом успехе опубликована статья в журнале Nature. Получен наилучший верхний предел на время полураспада 76Ge по этому процессу Т1/2 > 8·1025 лет.

Получено лучшее в мир ограничение на существование нового типа частицы – стерильного нейтрино – в диапазоне масс 0.1 – 2 кэВ в ИЯИ РАН в эксперименте по поиску стерильных нейтрино в распаде трития на установке Троицк ню-масс.

Исследования проводились в основном международными коллаборациями с участием российских институтов – участников Программы. Всего опубликовано в 2017 году 530 статей в рецензируемых изданиях.

Нумерация проектов сохранена в соответствии с документом: «Структура программы фундаментальных исследований президиума РАН «Физика высоких энергий и нейтринная астрофизика»». Сайт Программы фундаментальных исследований президиума РАН «Физика высоких энергий и нейтринная астрофизика»: <http://hepna.inr.ru/>

Проект 1. Высшие симметрии и голографический принцип в моделях фундаментальных взаимодействий. Рук. М.А.Васильев ФИАН

Установлено, что нелинейные уравнения высших спинов в четырех измерениях позволяют определить калибровочно инвариантный сохраняющийся поверхностный заряд. Показано, что этот заряд приводит к статсуммам, химпотенциалы которых можно отождествить с топологическими полями теории. Найдены вакуумный и линейный по химпотенциалу вклады в асимптотический заряд для решения уравнений высших спинов, обобщающего черную дыру Керра. Найден голографический предел вершин взаимодействия полей высших спинов, отвечающий АдС/КТП дуальным корреляционным функциям. Трехточечные корреляторы для трехмерной нелинейной граничной теории с нарушенной четностью впервые вычислены в замкнутом виде исходя из голографического соответствия с калибровочной теорией высших спинов в четырехмерном пространстве анти Де Ситтера.

**Проект 4: Теоретическое и экспериментальное исследование**

**физики гравитационного взаимодействия ультрахолодного антиводорода**

Руководитель проекта: ФИАН, О.Д.Далькаров

Список исполнителей: чл.-корр.РАН -1, д.ф.-м.н. – 2, к.ф.м.-н. – 1, аспирант – 3, студ. – 1.

В течение 2017года в ЦЕРН выполнялась программа экспериментов по исследованию гравитационных свойств ультрахолодного антиводорода, реализуемая коллаборацией GBAR. В этих работах принимают участие физики ФИАНа, по инициативе которых был поставлен ряд планируемых исследований в эксперименте GBAR/AD-7.

В ФИАН продолжаются в настоящее время работы по проектированию и изготовлению установки для спектроскопии гравитационных состояний атома водорода с геометрической селекцией ультрахолодных атомов (горизонтальная скорость 5 м/c, вертикальная скорость 1 см/c), с исследованием гравитационных состояний на плоском зеркале длиной 20 см и оптической регистрацией атомов. Создана трехмерная модель, ведутся расчеты оптимальной конфигурации, совмещающей максимально высокий поток атомов через спектрометр гравитационных состояний, селекцию по скоростям и высокую эффективность дифференциальной откачки.

Полученные результаты о природе квантового отражения ультрахолодных атомов антиводорода от поверхности жидкой гелиевой пленки для разных толщин пленки над различными подложками показали, что. возможна реализация времени жизни антиводорода в течение 1,3 с над поверхностью жидкого 4Не и 1,7 с для жидкого 3Не. Предсказанные большие времена жизни открывают качественно новые перспективы в спектроскопии квантовых гравитационных состояний.

Проект 5-6: Изучение гравитационных свойств антиматерии на установке AEGIS в ЦЕРНе. Поиск легкой темной материи на установке P348 в ЦЕРНе.

**Руководитель: ИЯИ РАН В.А.Матвеев, С.Гниненко**

Из анализа данных, полученных в эксперименте NA64 (или Р348) на ускорителе SPS CERN в 2016 году, найдено, что нет доказательств существования тёмного фотона с массой меньше 1 ГэВ, который распадается на две лёгкие частицы тёмной материи. Результаты опубликованы в печати в 2х работах.

**Проект 7: Экспериментальные исследования на детекторе Компактный Мюонный Соленоид (CMS)**

**Рук.: В.А.Матвеев, Н.В.Красников (ИЯИ РАН)**

В 2017 году была продолжена работа по поиску правого W\_R-бозона и тяжелого нейтрино на основе данных детектора CMS с полной энергией сталкивающихся протонов 13 ТэВ.

Произведен поиск правого WR-бозона и тяжелого нейтрино в событиях, содержащих один электрон или мюон, один распадающийся на адроны тау- лептон и как минимум две адронные струи. Получены новые ограничения на массу WR-бозона и массу тяжелого нейтрино. Для случая, когда масса тяжелого нейтрино равна половине массы правого нейтрино, правый WR -бозон с массой 2900 ГэВ и меньше исключен.

Литература: 3 статьи в 2017 году.

**Проект 8-9:**

**1.Поиск новой физики в распадах заряженных каонов в эксперименте NA62 (ЦЕРН)**

**2. Разработка и создание новых нейтринных детекторов в проекте LBNO DEMO, эксперимент WA105 (ЦЕРН). )**

**Рук.: ИЯИ РАН, Ю.Г.Куденко**

**Участники Проекта** ИЯИ РАН, Число участников проекта: 20 человек, из них 14 человек моложе 35 лет, 4 аспиранта, 7 студентов.

1. Проведен физический сеанс с каонным пучком высокой интенсивности в эксперименте NA62 с апреля по декабрь 2017 г. Набрано примерно 60% от полной статистики. Ведется анализ данных.

2. В результате анализа накопленных данных по распаду каона K+ → e+ νH получено новое ограничение на параметры смешивания тяжелых нейтрино с массами до 500 МэВ с активными нейтрино. Было проанализировано 3х10^8 распадов каонов. В области m νH > 150 МэВ это ограничение является лучшим для смешивания с электронным нейтрино, а в области m νH > 300 МэВ. - лучшим среди всех данных.

3. В рамках нейтринной платформы ЦЕРН в 2017 году проведена разработка магнитного нейтринного детектора Baby-MIND, который состоит из 33 слоев (модулей) намагниченных железных пластин (поле 1.5 Тесла), между которыми располагаются сегментированные сцинтилляционные детекторы со спектросмещающими волокнами и лавинными фотодиодами. Изготовление детектора было завершено в 2017 году, было проведено 2 тестовых сеанса на канале заряженных частиц в ЦЕРНе. Предварительные результаты анализа показывают, что полученные параметры Baby-MIND удовлетворяют требованиям, необходимым для измерения нейтринных сечений при энергии около 1 ГэВ. После завершения всех работ по исследованию детектор в декабре 2017 года был перевезен в JPARC (Япония).

Публикации – 11, доклады на конференциях и школах – 8, подготовка дипломных (бакалаврских, магистерских) работ - 3

Веб страницы проекта: <http://na62.web.cern.ch/na62/>, <http://cenf-baby-mind.web.cern.ch/>

|  |
| --- |
|  |

Проект 10: Исследование СР-нарушения и поиск новой физики в редких распадах В-мезонов в эксперименте БАК-би на Большом адронном коллайдере.

**ИЯИ РАН в коллаборации LHCb, руководитель Е.Н. Гущин**

Исполнители: Научных сотрудников – 5, инженерный состав – 4.

Основная цель международного эксперимента LHCb – исследование СР-нарушения и поиск Новой Физики в редких распадах В-мезонов на ускорителе LHC в CERN. К 2017 году на ускорителе LHC проведены работы, в результате которых энергия пучков увеличена до 13 ТэВ. Эксперимент LHCb в 2017 г. продолжил набор статистики и обработку набранных данных. Получен ряд новых результатов о СР-нарушении в редких распадах В- и D-мезонов, превосходящих по точности лучшие мировые измерения.

Основные публикации в 2017 г. – 28.

Проект 11: Исследование энергетической зависимости множественности частиц и плотности их распределения по псевдобыстроте от энергии в pp, p-Pb и в Pb+Pb столкновениях на установке ALICE

**Рук.: ИЯИ РАН А.Б.Курепин**

Множественность заряженных частиц, образующихся в результате высокоэнергетических pp столкновений, является одним из ключевых наблюдаемых для описания глобальных свойств pp-взаимодействия. Эта характеристика была и остается предметом экспериментальных исследований, выполняемых сотрудниками ИЯИ РАН в рамках коллаборации ALICE на Большом адронном коллайдере (БАК).

В рамках программы модернизации супердетектора ALICE в ЛРЯФ и КОРЭ ИЯИ РАН разработан прототип интеллектуального триггера ФИТ (FIT -Fast Interaction Trigger), который заменит существующие триггерные передние детекторы T0, V0 и FMD, используемые для определения множественности, центральности события, угла плоскости реакции, измерения светимости и идентификации частиц по время-пролетному методу. В 2017 году прототип детектора успешно прошел испытания в тестовых измерениях, проведенных на ускорителе PS. Исследования показали, что прототип детектора ФИТ на основе модифицированного микроканального фотоумножителя нового поколения ХР85012мод1 обладает широким динамическим диапазоном (до 1:300 на один канал), что при амплитуде однозарядной релятивистской частицы 10 мВ частота импульсов может достигать 4 МГц и временное разрешение менее 40 пикосекунд. Полученные параметры удовлетворяют требованиям эксперимента ALICE после модернизации БАК в 2018-20 гг.

Проект 12: Исследование рождения адронов в адрон-ядерных и ядро-ядерных взаимодействиях на ускорителе SPS в ЦЕРН

**ИЯИ, руководитель Ф.Ф. Губер**

Группа ИЯИ РАН в международной колаборации NA61 (9 чел. из них 1 д.ф.м.н., 3 к.ф.м.н., 2 молодых ученых).

В 2017г. на установке NA61/SHINE в ЦЕРНе, с участием физиков ИЯИ РАН, впервые в мире, измерены выходы частиц в столкновениях ядер ксенона с ядрами лантана при энергиях налетающих ядер ксенона 13, 20, 30, 40, 75 и 150 ГэВ на нуклон от ускорителя SPS. Эти измерения являются частью программы по поиску и исследованию начала деконфайнмента, т.е. перехода между двумя фазами сильно взаимодействующей материи в ядро-ядерных взаимодействиях и поиску критической точки сильно взаимодействующей ядерной материи. Исследования проводятся посредством сканирования фазовой диаграммы с помощью реакций с легкими и тяжелыми ядрами при энергиях налетающих частиц в диапазоне от 13 до 158 ГэВ на нуклон. К настоящему времени уже получены и анализируются экспериментальные данные для протон-протонных столкновений, столкновений ядер бериллия и столкновений ядер аргона с ядрами скандия.

Выполнен предварительный анализ экспериментальных данных, полученных в 2016г., по исследованию прямых потоков пионов и протонов в столкновениях ядер свинца в зависимости от центральности столкновений при импульсе налетающих ядер свинца 30А ГэВ/с. Для оценки плоскости события и центральности взаимодействия использовался передний адронный калориметр, разработанный и изготовленный группой ИЯИ.

**Проект 13. Обработка и анализ экспериментальных данных коллаборации КМС в ЦЕРНе по взаимодействиям протонов и ядер и их теоретическая интерпретация в сочетании с данными других коллабораций**». Рук. И.М. Дремин и В.Ф. Андреев ФИАН

В соответствии с существующими обязательствами перед коллаборацией КМС (CMS) были измерены характеристики процессов с рождением струй в pp столкновениях при энергии 13 ТэВ: изучались импульсный дисбаланс, корреляции и множественность адронных струй как функции множественности заряженных частиц.

Всего за 2017 год группой ФИАН в составе авторского коллектива коллаборации КМС (CMS) опубликовано более 7**0**  работ в научных журналах, индексируемых в WoS, INSPIRE и РИНЦ. Кроме того было опубликовано 5 работ отдельно от коллаборации. Результаты работы группы также регулярно представлялись на рабочих совещаниях коллаборации КМС (сделан 21 доклад в течении 2017 года).

В 2017 году сотрудники группы ФИАН работали в составе команды по модернизации торцевого адронного калориметра, которая была осуществлена в начале 2017 года (ФАЗА 1 модернизации).

**Проект 15: «Модернизации торцевого жидкоаргонового калориметра и внутреннего трекера детектора АТЛАС Большого адронного коллайдера ЦЕРН для экспериментальных исследований рождения и распада новых тяжелых частиц в условиях повышенной светимости», рук. А.В. Багуля ФИАН.** Общее количество научных сотрудников – исполнителей проекта: всего научных сотрудников - 10, докторов наук – 2, кандидатов наук – 2, молодых сотрудников (до 29 лет) – 2.

В течение 2017 г. продолжалось участие в широком круге работ по текущей эксплуатации элементов жидкоаргоновых детекторов, участие в рабочих сменах в Control Room, в работах (совместно с группой IEP SAS (Кошице, Словакия)) с данными мониторинга «холодной» (помещенной в жидкий аргон) электроники торцевого адронного калориметра – поддержание и модернизация базы данных, обработка и анализ результатов.

Совместно с НИУ МИЭТ была продолжена отработка технологии сборки пиксельных модулей методом «флип-чип», для чего на оборудовании НИУ МИЭТ было собрано 1025 тестовых кристаллов с шагом контактов 20 мкм по 640 х 512 индиевых контактов на каждом. Тесты при помощи рентгеновского микроскопа показали точность совмещения контактов по горизонтали 1 мкм, а по вертикали 0,5 мкм.

В 2016 году с целью создания новых микроструктурных детекторов на стендах коллаборации RD51 были проведены испытания первого тестового образца газового электронного умножителя (ГЭУ), изготовленного ФИАН совместно с лабораторией лазерной модификации тонких пленок ЦЕНИ ИОФАН. В 2017 г. были продолжены работы по созданию ГЭУ из CVD алмаза: изготовлен тестовый образец ГЭУ с электродами, представляющими собой тонкие пленки (несколько микрометров) легированного бором алмаза.

**Проект 16: Исследование физической природы влияния потоков космических лучей и заряженных частиц на атмосферные процессы. Эксперимент CLOUD/PS215 в ЦЕРНе”. Руководитель: д.ф.-м.н. В.С. Махмутов, ДНС ФИАН.**

В 2017 г. успешно выполнены запланированные работы по международному проекту CLOUD в ЦЕРНе и проведен анализ полученных данных. Получены новые результаты в исследовании процесса нуклеации в земной атмосфере. Установлено, что в отсутствии ионов полная скорость образования частиц (с размером 1.5 нм) и концентрация ионных кластеров (0.75-1.8 нм) полностью определяется нейтральной нуклеацией Jn (см. рис.1, панели a и с). В условиях ионизации, вызванной космическим лучами полная скорость образования частиц возрастает в ~14 раз (синяя линия; панель b) и определяется вкладом ионно-индуцированного механизма и увеличивавшейся нейтральной нуклеацией, связанной с рекомбинацией части ионов (зеленая линия). При этом концентрация положительно и отрицательно заряженных кластеров, образованных в присутствии космических лучей в более, чем в 10 раз превышает указанные концентрации кластеров, наблюдаемых в условиях нейтральной нуклеации.

**Проект 17. Изучение взаимодействий тау-нейтрино и разработка детекторов для поиска новых гипотетических частиц**

Руководитель подпроекта:ФИАН, Н.Г.Полухина

Количество и состав научной группы: 19 сотрудников, в том числе 9 сотрудников моложе 39 лет; 4 д.ф.-м.н., 8 к.ф.-м.н., 1 докторант и 3 аспиранта:

1.Анализ возможностей регистрации процессов взаимодействия элементарных частиц при различных конструктивных решениях прототипа нейтринного детектора для эксперимента SHiP

2. Сканирование и анализ данных экспонированных на пучках релятивистских частиц тестовых эмульсионных слоев прототипа нейтринного детектора для эксперимента SHiP на комплексе ПАВИКОМ, ФИАН.

3. Разработка конструкции детектора из наноразмерной ядерной фотоэмульсии и первые тестовые измерения на прототипе детектора NEWSdm для проверки фоновых условий в подземной лаборатории.

4. Развитие метода мюонной радиографии крупных природных и промышленных объектов на основе эмульсионных трековых детекторов. Эмульсионные трековые детекторы хороши тем, что просты в эксплуатации, не требуют электроэнергии для работы, в случае геологоразведки позволяют обойтись гораздо меньшим числом скважин, и при этом способны с высокой точностью различать объекты размером от метра до километров.

**Проект 18. Поддержка и развитие детекторов, разработка программного обеспечения и поддержка Грид технологий для эксперимента ANLAS на Большом адронном Коллайдере в ЦЕРН. Рук. А.п.Шмелёва ФИАН**

Автоматические рентгеновские сканеры для контроля качества производимых мюонных камер Новых Малых Колес (НМК) были поставлены в лаборатории, где будет проводиться сборка камер sTGC НМК и их тестирование – в Израиле, Канаде, Китае, России и Чили. В лабораториях было начато тестирование автоматических рентгеновских сканеров и программного обеспечения (ПО) с прототипами и с полномасштабными sTGC камерами. Была проведена установка ПО на компьютеры в лабораториях, его проверка, тестирование и доработка в связи с особенностями конкретных лабораторий.

Проведен сеанс на пучках ускорителя SPS в ЦЕРН с прототипами радиаторов и детекторов переходного излучения для исследования оптимизации конфигурации детектора, которая позволила бы отделить частицы с γ-факторами в диапазоне ~103-4х104 .

Проект 20: Разработка и создание измерителей формы сгустков для линейного ускорителя Linac-4 ЦЕРН и исследование продольного движения в ускорителе.

ИЯИ РАН, А.В.Фещенко Число участников проекта: 12.

Измерители формы сгустков, создаваемые в ИЯИ РАН, позволяют наблюдать форму сгустков в линейных ускорителях ионов с временным разрешением около 10 пикосекунд, а также ее эволюцию в течение импульса тока пучка. Работы по разработке и созданию измерителей формы сгустков для ускорителя Linac-4 были начаты в 2009 году. За прошедшие годы были разработаны, изготовлены, налажены и внедрены на ускорителе Linac-4 два измерителя. Особенностью требований к измерителям для ускорителя Linac-4 является тип частиц – отрицательные ионы водорода, широкий диапазон энергии пучка от 3 МэВ до 160 МэВ, широкий диапазон интенсивностей (импульсный ток до 65 мА), малые габариты первого измерителя, поскольку решение о его использовании было принято уже после определения состава измерительного канала, а также большая (100 мм) апертура второго измерителя. Первый измеритель использовался в нескольких местах на ускорителе по мере его запуска, начиная с выхода RFQ при энергии 3 МэВ.

Были проведены измерения формы сгустков при регулировании фазы ускоряющего поля в диапазоне 360° одновременно в последнем и предпоследнем резонаторах ускорителя PIMS 11 и PIMS 12.

**Проект 2, 21: Физика кремниевых детекторов тяжёлых частиц. Генерация нейтрино в энергичных астрофизических объектах.**

Рук.: ак. А.Г.Забродский. ФТИ им.А.Ф.Иоффе РАН

1.В рамках проекта в 2017 г. продолжены разработки новой элементной базы перспективной ускорительной техники для экспериментальной физики высоких энергий.

Определено, что при облучении кремниевых детекторов при температуре 1.9-4.3 К реализация режима их работы с инжекцией тока (Current Injection Detectors, CID) и стабилизацией распределения электрического поля в чувствительной области по механизму тока, ограниченного пространственным зарядом, возможна, начиная с дозы около 10(14) см(-2).

На основе полученных ранее в рамках настоящего проекта результатов в области физики формирования электрического поля в чувствительном объеме кремниевых детекторов в интервале температур жидкого гелия как физической основы разработки кремниевых детекторов гамма-квантов с большим чувствительным объемом, развиты подходы к тестированию сверхпроводящих резонаторов, используемых в качестве ускорительных элементов БАК.

2. В рамках проекта продолжены систематические исследования остывания изолированных нейтронных звезд среднего возраста (не выше нескольких миллионов лет). Развита модель эффективных источников петаэлектроновольтных нейтрино и тераэлектроновольтных фотонов, формирующихся в зоне взаимодействия сходящихся высокоскоростных потоков в компактных звездных скоплениях, где ударные волны молодых остатков сверхновых звезд сталкиваются с энергичными ветрами молодых звезд.

**Проект 23. Исследование нейтринного излучения Солнца и нестандартных свойств нейтрино**

Руководитель: чл.-к. РАН Владимир Николаевич Гаврин ИЯИ РАН

На БНО ИЯИ РАН в Лаборатории галлий-германиевого нейтринного телескопа и в Москве в Лаборатории радиохимических методов детектирования нейтрино ОЛВЭНА ИЯИ РАН в 2017 году были проделаны следующие работы:

1. Исследование спектров внутреннего тормозного излучения радиоактивных изотопов.

2. Разработка методики исследования непрерывных гамма-спектров и поиск собственных состояний нейтрино с массами выше 20 кэВ по искажениям спектров ВТИ.

**Проект 24: Байкальский нейтринный эксперимент.**

**Рук. чл.-к. РАН Г.В.Домогацкий**

В 2017 году на комплексе установок Байкальского глубоководного нейтринного телескопа (БГНТ) выполнялись экспериментальные исследования по программам изучения природных потоков мюонов и нейтрино высоких и сверхвысоких (Е>10 ТэВ) энергий, по поиску проявлений массивных частиц - кандидатов на роль холодной темной материи.  
 В период зимней экспедиции 2017 года на оз. Байкал выполнены работы по анализу состояния, ремонту, частичной замене и модернизации глубоководной аппаратуры и подводных линий кабельной связи первого кластера нейтринного телескопа Baikal-GVD, содержавшего 288 оптических модуля (ОМ) с фотодетекторами и успешно функционировавшего в течение 2016 г. В дополнение к первому кластеру телескопа, развернут и введен в эксплуатацию в режиме долговременного набора данных второй полномасштабный кластер нейтринного телескопа Baikal-GVD. Нейтринный телескоп Baikal-GVD в конфигурации 2017 г., является глубоководным детектором с эффективным объемом порядка 0.1 км3 для регистрации нейтрино по каскадной моде, способным вести исследование потока нейтрино астрофизической природы, обнаруженного в экспериментах на нейтринном телескопе IceCube.  
 В течение 2017 года осуществлялась эксплуатация телескопа Baikal-GVD. Велся анализ экспериментальных данных первого кластера за 2016 год. Работу над проектом вела группа российских институтов – ИЯИ (головная организация), НИИ прикладной физики Иркутского государственного университета , НИИ ядерной физики Московского государственного университета, Нижегородский государственный политехнический университет, Санкт - Петербургский государственный морской технический университет, международный центр ОИЯИ (г.Дубна), с участием специалистов исследовательского центра EvoLogics (Германия), университета (Bratislava, Slovakia) и Технического университета (Prague, Czech Republic).

**Проект 25. Исследования спектра массовых состояний нейтрино: эксперимент «Троицк рю-масс».** Прямые лабораторные поиски тяжёлой компоненты нейтрино в кинематике радиоактивных распадов. Руководитель темы: дф-мн В.С. Пантуев

Сотрудников-исполнителей: всего 9, из них кф-мн - 4, аспирант-стажер в возрасте до 29 лет – 1.

После обработки набранной ранее статистики были получены лучшие в мире ограничения на существование нового типа частицы – стерильного нейтрино – в диапазоне масс 0.1 – 2 кэВ. Результаты были опубликованы в журнале «Письма в ЖЭТФ» под заглавием «Первые измерения по поиску стерильных нейтрино в распаде трития на установке Троицк ню-масс».

Уникальная научная установка «Троицк ню-масс» вышла на международную арену и стала одной из немногих отечественных установок, на которой продуктивно работают ученые из Германии и Франции. В ходе двух успешных сеансов измерений зарубежными коллегами были испытаны образцы новых типов детекторов, которые будут использованы сначала в Троицке, а затем и в Германии на установке KATRIN, Карлсруэ. Для дальнейшего объединения усилий подготовлено соглашение о международном сотрудничестве между ИЯИ РАН и институтом Макса Планка в Мюнхене. На 2019 год подана заявка на совместный грант РНФ (Россия) и DFG (Германия).

Основным результатом проведенной в 2017 году работы является проведение трёх полноценных сеансов измерений по 3 недели каждый. Продолжен набор статистики прецизионного измерения бета спектра трития с целью поиска сигналов стерильного нейтрино в диапазоне энергии электронов 14-18.5 кэВ. Данные находятся в стадии обработки.

**Проект 26. Поиск всплесков гравитационного излучения на подземном детекторе ОГРАН.** Руководители: ИЯИ Безруков Л.Б, ГАИШ МГУ (совместитель) Руденко В.Н

Исполнители: ИЯИ Гаврилюк Ю.М.,

ГАИШ МГУ (совместители) Орешкин С.И. Крючков Д.

(только ГАИШ) Кувшинский М.В., Попов С.М., Юдин И.С., Благов С.В.

ИЛФ СО РАН Квашнин Н.Н., Скворцов М.Н.

Выполнены подготовительные работы по мониторингу грави-градиентного наземного фона в килогерцевом диапазоне частот с целью детектирования слабых всплесков гравитационного излучения, порождаемых коллапсирующими объектами в Галактике и еѐ близкой окрестности радиусом в 100 кпк. Для наблюдений используется новая опто-акустическая гравитационная антенна (ОГРАН), синтезирующая акустический и оптический принципы детектирования гравитационных волн с чувствительностью 10^{-19} Гц^{1/2} к метрическим вариациям. Подавление радиационного фона и снижение уровня сейсмо - гравитационных помех реализуется за счет дислокации антенны в подземной лаборатории ПК-14, БНО ИЯИ РАН. Регистрации астрофизических сигналов предусмотрена в реальном времени посредством анализа совпадений с выбросами фона нейтринного телескопа БПСТ. Эффективное снижение частоты появления шумовых всплесков ОГРАН осуществляется фильтрацией анти корреляций с данными гравитационного детектора веберовского типа (УЛИТКА) геофизического уровня чувствительности 10^{-16} Гц^{1/2}, также размещенного на ПК-14. Выполнены эксперименты по измерению опто-механических параметров криогенной пилотной модели ОГРАН с целью исследования путей повышения чувствительности гравитационных антенн данного типа.

Адреса ресурсов в Интернет по проекту<https://istina.msu.ru/projects/59150370/>

**Проект 27. «Неускорительная физика частиц: двойной безнейтринный бета распад ядер, осцилляции реакторных нейтрино»**

Руководители: Леонид Борисович Безруков, Валерий Витальевич Синёв; Исполнители: Баярто Константинович Лубсандоржиев, О.И. Селиваненко, Е.А.Дорошкевич

Проблема осцилляций нейтрино в данном проекте исследовалась в рамках коллаборации Double Chooz, а двойной безнейтринный бета распад атома германия исследовался в рамках коллаборации GERDA.

Детекторы Double Chooz (дальний и ближний) продолжали функционировать, измеряя спектр реакторных антинейтрино на двух расстояниях. Получены новые значения угла смешивания θ13 при анализе событий реакции обратного бета распада с захватом нейтрона на водороде и гадолинии. Комбинированная величина для захватов нейтрона на водороде и гадолинии составляет sin22θ13 = 0.107±0.016. Измерены выходы космогенных изотопов 8He и 9Li при захвате мюонов ядрами углерода 12С и 13С. Проведен анализ фона, измеренного за время остановки сразу двух реакторов, которое длилось более 20 дней.

В рамках коллаботации GERDA была смонтирована в лаборатории Гран-Сассо установка для очистки отходов германия.

Проект 28, 29, 31: Исследование космических лучей высоких и сверхвысоких энергий и свойств нейтрино на установках Telescope array, Prisma-LHAASO, NOvA и E938 (MINERvA)

ИЯИ, Г.И.Рубцов, Ю.Стенкин, А.Буткевич

1.При обработке данных "Telescope Array" в 2017 году получен следующий результат. Имеются свидетельства того, что космические лучи с энергиями порядка ЭэВ являются протонами. Если эти протоны имеют Галактическое происхождение, то должна наблюдаться анизотропия направлений их прихода, вызванная отклонениями в Галактическом магнитном поле. Ни усиление потока вдоль Галактической плоскости, ни его дефицит направлении Галактического антицентра обнаружены не были. Получено очраничение сверху на уровне 1.3% на долю Галактических протонов 95% уровнем достоверности.

2.Целью эксперимента NOvA (NuMI Off-axis νe Appearance) является определение параметров нейтринный осцилляций. Сайт: www-nova.fnal.gov. В этом эксперименте используется самый мощный пучок (мощностью 700 кВт ) мюонных нейтрино с энергией 1-3 ГэВ и два подобных детектора - ближний и дальний. Ближний детектор расположен вблизи источника нейтрино (Фермилаб, США), а дальний детектор находится на расстоянии 810 км Аш-Ривер (ш. Миниссота, США).

В результате фитирования спектров мюонных и электронных событий, как функций параметров *Δm232 , sin2θ23* и фазы нарушения СР-инвариантности δСР получены вырожденные решения: а) *θ23 <* π/4, нормальная иерархия масс (m1<m2<m3) и δСР ~ 3π/2 (максимальное нарушение СР-инвариантности), б) *θ23 >* π/4, обратная иерархия масс (m3<m1<m2) и δСР ~ 3π/2, или нормальная иерархия масс и δСР ~ π/2 (минимальное нарушение СР-инвариантности).

3. В 2016 г. были получены новые результаты по изучению космических лучей сверхвысоких энергий разработанным в ИЯИ РАН методом (проект PRISMA). С помощью специализированных сцинтилляционных детекторов (эн-детекторы) были измерены функции пространственного распределения тепловых нейтронов в ШАЛ и получен спектр мощностей ШАЛ по числу тепловых нейтронов на двух уровнях наблюдения: на уровне моря (установка PRISMA-32) на высоте 4300 м над уровнем моря (установка PRISMA-YBJ). Проведено детальное моделирование экспериментов и получено хорошее согласие расчета с экспериментальными данными. Начата разработка нового метода измерения химического состава космических лучей при энергиях выше 1 ПэВ. Разработан проект и начато создание полномасштабной установки PRISMA-LHAASO в рамках международного проекта LHAASO.

**Проект 30:**

**Осцилляционные эксперименты с интенсивными пучками нейтрино и антинейтрино на протонном ускорителе JPARC (Япония)**

**Руководитель:** Ю.Г.Куденко ИЯИ РАН, Число участников проекта: 18 человек, из них 11 человек моложе 35 лет, 2 аспиранта, 9 студентов.

1.В нейтринном эксперименте Т2К проведены измерения осцилляций мюонных нейтрино и антинейтрино и получены в электронные нейтрино и антинейтрино. Основываясь на одновременном анализе данных по осцилляциям мюонных нейтрино в электронные нейтрино и мюонных антинейтрино в электронные антинейтрино, накопленных в 2015, 2016 годах, а также в первой половине 2017 года, а также данных реакторных экспериментов, эксперимент Т2К впервые получил указание на максимальное нарушение СР симметрии в нейтринных осцилляциях и указание на величину СР нечетной фазы около -90 градусов.

2. В эксперименте Т2К были измерены осцилляцилнные параметры в при измерении «дефицита» мюонных нейтрино в дальнем детекторе СуперКамиоканде.

Результаты Т2К указывают на величину угла θ23 близкую к максимальному смешиванию 45 градусов, что подтверждается (с меньшей точностью) экспериментами Супер-Камиоканде и IceCube. Однако эксперименты MINOS и NOvA указывают на значительное отклонение возможной величины этого угла от 45 градусов.

3. Запущен в работу первый модуль детектора WAGASCI, состоящий из активных элементов (сцинтилляционных детекторов) и пассивных (вода) в соотношении 20:80. Начаты измерения на нейтринном пучке Т2К. Активные элементы этих детекторов (сцинтилляционные детекторы со спектросмещающими волокнами и лавинными фотодиодами) были разработаны и созданы сотрудниками ИЯИ РАН, входящими в этот научный коллектив.

4. Проведены тесты и начат монтаж детектора мюонного пробега (MRD) для центральной мишени WAGASCI. Один их 2-х MRD детекторов собран и готов к набору статистики на нейтринном пучке.

5. Завершена работа по подготовке к монтажу на нейтринном канале Т2К магнитного детектора Baby-MIND. Детектор общей массой около 60 тонн был протестирован на канале заряженных частиц Т10 в ЦЕРНе и перевезен в Японию в декабре 2017 г. Предварительные результаты тестов показали хорошие параметры и способность измерять импульс мюона при низких энергиях около 500 МэВ.

Проект 32: Подземная физика на детекторах АСД, LVD, OPERA:

Поиск нейтринного излучения на детекторах АНС и LVD.

Разработка метода измерения генерации нейтронов мюонами космических лучей в аргоне. Поиск редких событий с помощью эмульсионно-трекового детектора OPERA. Рук. ИЯИ, чл.-к. РАН О.Г.Ряжская

Установки АСД (Артемовской Научной станции) и LVD (Гран Сассо, Италия), построенные сотрудниками Лаборатории электронных методов детектирования нейтрино ИЯИ РАН, работают по программе поиска нейтринного излучения от коллапсов звездных ядер. Установки OPERA и NEWSdm (Гран Сассо, Италия) предназначены для изучения осцилляций нейтрино и поиска темной материи.

Основной реакцией взаимодействия антинейтрино в сцинтилляторе CnH2n+2 является реакция обратного бета распада (IBD). Основой поиска нейтринных всплесков является идентификация кластеров событий по времени с низкой вероятностью имитации событий за счет флуктуации фона.

Из 27 миллионов обнаруженных кластеров ни один из них не имеет частоты имитации менее 1/100 г-1. Таким образом, можно сделать вывод о том, что не было зафиксировано никаких сигналов от вспышек сверхновых, на расстоянии до 25 кпк в период наблюдения.

Эксперимент OPERA закончил набор экспериментальных данных, хотя обработка их еще продолжается. Впервые экспериментально установлено наличие осцилляций мюонных нейтрино в тау-нейтрино путем прямого наблюдения взаимодействий тау-нейтрино. Однако, еще имеется много данных, полученных в ходе эксперимента, требующих продолжения анализа и обработки. Это рождение очарованных частиц, осцилляции мюонного нейтрино в электронное, оценка возможностей существования стерильного нейтрино, анализ зарегистрированных событий прохождения космических лучей и др.

В предлагаемом новом международном эксперименте NEWSdm в Лаборатории Гран Сассо (Nuclear Emulsion for WIMP Search – Dark Matter, участниками нового проекта являются научные группы из INFN, ИЯИ РАН, ФИАН, НИИЯФ МГУ и др.) полученное угловое распределение ядер отдачи будет ориентировано относительно направления на созвездие Лебедя, в то время как распределение фона должно быть изотропным. Перспективы проекта NEWSdm, открывающего уникальную возможность для открытия частиц галактической темной материи, связаны с использованием твердотельного детектора, состоящего из недавно разработанных наноразмерных ядерных эмульсий и оптических сканирующих систем, достигающих беспрецедентного наноразмерного разрешения.

**Проект 33. Эксперимент Тунка/TAIGA**

Руководитель: ИЯИ РАН Б.К.Лубсандоржиев, исполнитель: аспирант ИЯИ РАН А.Сидоренков.

Основной физической задачей Гамма-обсерватории высоких энергий TAIGA (Tunka Advanced Instrument for cosmic ray physics and Gamma-ray Astronomy) является исследование гамма-излучения и потоков заряженных космических лучей в диапазоне энергий 1013 – 1018 эВ. Эксперимент включает в себя сеть широкоугольных черенковских станций с углом обзора ~0.6 стерадиан (60°×60°) (TAIGA-HiSCORE), атмосферных черенковских телескопов изображения с углом обзора 10°×10° (TAIGA-IACT) и сцинтилляционных детекторов для регистрации мюонной и электромагнитной компонент широких атмосферных ливней (TAIGA-GRANDE).

В январе 2017 года произведен физический пуск первого атмосферного черенковского телескопа изображения (TAIGA-IACT). На сегодняшний день этот телескоп – самый северный телескоп такого типа в мире.

Для отбора и тестирования параметров фотоумножителей камеры изображения атмосферных черенковских телескопов изображдения был разработан и создан электронный измерительный стенд. Всего протестировано ~800 фотоумножителей XP1911B. Также нами разработан и создан измерительный стенд для тестирования и отбора фотоумножителей для сцинтилляционной установки TAIGA-GRANDE.

Проект 34: Проверка экспериментально наблюдаемого эффекта годовых и суточных вариаций константы распада ядра 214Ро на короткоживущем ядре 213Ро.

Рук. ИЯИ, В.В.Кузминов

В 2017 году на установке ТАУ-3 с источником 229Th, расположенной в низкофоновой лаборатории БНО ИЯИ РАН НЛГЗ-4900, набрана статистика за 812 дней (июль 2015–декабрь 2017), обработана статистика за 622 дня (09.07.2015-29.03.2017). В результате обработки временного ряда значений периода полураспада дочернего изотопа 213Po обнаружены солнечно-суточная вариация константы распада с усреднённой амплитудой АС=(5.3±1.1)∙10-4, лунно-суточная с АЛ=(4.8±2.1)∙10-4 и звёздно-суточная с АЗ=(4.2±1.7)∙10-4. Набор статистики и обработка данных продолжается. Исследуются возможные причины вариаций.

**Проект 35:** «**Астрофизические исследования космических лучей сверхвысокой энергии на уровне гор**» Рук. В.П.Павлюченко, ФИАН.

Экспериментально получено, что из Южного полушария неба, из области кластера VELA (расстояние 0.2-0.3 кпс) приходит ПКИ с наиболее легким массовым составом, частицы которого наименее рассеиваются в магнитных полях Галактики и указывают на источник ПКИ. Эффект «облегченного» состава ПКИ из Южного полушария подтвержден по экспериментальным данным установок ТШВНС, ГАММА и МАКЕТ (Арагац), KASCADE (Карлсруэ).

Проект 36: Исследование первичного космического излучения и поиск астрофизических источников космического излучения на комплексе установок Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ РАН.

Рук. ИЯИ РАН В.Б.Петков

1. В 2017 году на Баксанском подземном сцинтилляционном телескопе (БПСТ) проводились работы по поддержанию его работоспособности и продолжению набора экспериментальных данных по программе регистрации мюоннных нейтрино из нижней полусферы. За период с 01.01.2017 по 30.12.2017 чистое время регистрации по данной задаче составило 7632 часов (87.1% календарного времени), выделено 42 кандидата на нейтринные события.

2. По данным БПСТ проведен поиск локальных источников мюонных нейтрино с энергиями ≥ 1 ГэВ. Измеренный на БПСТ поток мюонов из нижней полусферы в пределах погрешностей согласуется с потоком, ожидаемым от атмосферных нейтрино, т.е. атмосферные нейтрино являются основным фоном при поиске астрофизических источников мюонных нейтрино.

3. Измерен поток нейтронов с пороговой энергией 28.6 МэВ на глубине расположения БПСТ. Для измерения потока нейтронов был использована скорость образования нестабильного радиоактивного изотопа 12B в (n, p) реакции на ядрах углерода в органическом сцинтилляторе БПСТ. С учетом результатов экспериментов по изучению взаимодействия нейтронов с углеродом и предположения, что энергетический спектр нейтронов при энергиях En > 10 МэВ ведет себя как En-1 , был получен поток нейтронов для каждой из плоскостей БПСТ.

**Проект 37, 38, 40. Космические лучи в гелиосферных процессах по наземным и стратосферным наблюдениям. Рук. Ю.И.Стожков ФИАН, ак. Г.Ф.Крымский ИКФИА СО РАН, В.Г.Янке ИЗМИРАН, Р.Т.Гущина, Ю.В.Балабин ПГИ КНЦ.**

Исполнители:

**ФИАН** (3 станции): Махмутов В.С., д.ф.-м.н., зав. ДНС, Свиржевский Н.С., д.ф.-м.н., г.н.с., Базилевская Г.А., д.ф.-м.н., г.н.с., Крайнев М.Б., к. ф.-м. н., в.н.с., Свиржевская А.К., к. ф.-м. н., в.н.с.

**ИЗМИРАН** (3 станции)**:** Янке В.Г., к. ф.-м. н., зав. отделом.

**ИКФИА** (2 станции)**:** Стародубцев С.А., д.ф.-м.н., врио дир., Григорьев В.Г., к.ф.-м.н, и.о. зав. лаб.

**ИСЗФ**(4станции)**:** Сдобнов В.Е., к.ф.-м.н., снс, Луковникова А.А., к.ф.-м.н, зав.Саян.солн. обс.

**Институт нефтегазовой геологии и геофизики (ИНГГ):** Янчуковский В. Л., д.ф.-м.н., зав. лаб.

**ПГИ** (2 станции)**:** Балабин Ю.В., к.ф.-м.н., зав. сектором,

**ИЯИ (Баксан** NM**):** Петков В.Б., д.ф.-м.н., зав. лаб.

**ИКИР** **ДВО РАН** (2 станции): Поддельский И.Н., к.ф.-м.н., снс.

В 2017 г. силами сотрудников ДНС изготовлено 500 радиозондов космических лучей (КЛ), выполнено 450 запусков этих приборов в атмосферу, из них 160 – в г. Долгопрудном, 140 – в северных полярных широтах, 150 – на станции Мирный, Антарктида.

В течение 2017 г. продолжалась непрерывная регистрация нейтронной компоненты КЛ на 15 российских станциях, мюонной компоненты на 3 станциях

В начале сентября 2017 г. был отмечен значительный всплеск солнечной активности. Последствия мощных событий на Солнце отражены в вариациях КЛ: нейтронные мониторы наблюдали в сентябре 2017 г. серию Форбуш-понижений. Одно из них достигло величины около 8% (для КЛ с жёсткостью 10 ГВ) и стало одним из трёх крупнейших Форбуш-понижений текущего солнечного цикла.

Статей в Рецензируемых журналах - 36

**Проект 39. Исследования радиоизлучения Луны**

**Руководители Рябов В.А., Дакгесаманский Р.Д. ФИАН**

Исследование состава и спектра электромагнитных шумов космического аппарата и разработка методов их подавления (уменьшения).

Был оценен эффект от снижения массы прибора ЛОРД за счет внесения конструктивных изменений и вынос антенн на расстояние от бортовой аппаратуры космического аппарата (КА) посредством раскладываемых элементов конструкции в предположении, что диапазон частот прибора ЛОРД будет сужен до 400 – 800 МГц. В результате появилась возможность вынесения антенн ЛОРД на расстояние примерно 4 м. Масса измененной антенны составляет примерно 6,2 кг, что почти в 2 раза меньше исходной, габариты антенны так же существенно уменьшились.

**Проект 41. Систематический поиск и совместное изучение необычных процессов и явлений («новой физики») в передней кинематической области сталкивающихся адронов в мишенных экспериментах с космическими лучами и в экспериментах на LHC при E = 1014 - 1018 eV.** Руководитель проекта В.С. Пучков ФИАН

В 2017 г. продолжалась проявка, обработка и анализ экспериментальных данных, полученных в РЭК с воздушным зазором, экспонировавшейся на Памире (Рис. 1). Предварительный анализ подтверждает наличие избытка каскадов в верхних слоях нижней части РЭК, что является качественным подтверждением гипотезы о быстром росте сечения рождения чармированных частиц.

**Проект 42. Калориметр CMS**. Рук: ак. М. В. Данилов.

1. При анализе данных эксперимента Belle была измерена энергетическая зависимость сечений процесса e+→e−(nS)+− (n=1,2,3), в которой впервые наблюдалась новая структура при энергии 10.77 ГэВ с шириной около 50 МэВ. Обнаруженная структура может возникать из-за эффекта связи каналов или являться сигналом нового резонанса.

2. В ходе работ по эксперименту Belle-2 была подключена система считывания модернизированного торцевого детектора, разработано программное обеспечение для калибровки, идентификации частиц и реконструкции, проведена его отладка на модельных событиях. Набраны первые данные с модернизированного торцевого детектора со случайным и космическим триггерами.

3. Были продолжен анализ данных эксперимента CMS с целью поиска экзотического состояния X(5568) с учетом оценок эффективности реконструкции по модельным событиям. По результатам анализа был получен самый строгий на данный момент верхний предел 1.1% на относительную вероятность рождения данного экзотического состояния в рр-столкновениях при энергии 8 ТэВ.

4. По результатам анализа данных о скорости радиационного повреждения сцинтилляторов представлены рекомендации по модернизации торцевого калориметра CMS для работы в условиях сверхвысокой светимости.

**Проект 43. Изучение характеристик ШАЛ в области энергий КЛ 1015-1018 эВ Руководитель: C.Б.Шаулов (ФИАН)**

Основной целью Проекта являлось изучение спектра космических лучей в области энергий 1–1000 ПэВ. Наиболее важной проблемой являются вид (форма) энергетического спектра КЛ и массовый состав КЛ. Подтверждена форма колена с двумя изломами в спектре космических лучей при 3 и 100 ПэВ. Используя банк данных эксперимента АДРОН, обнаружены события с аномально большими поперечными импульсами.

**Заключение.**

Работы по проектам данной темы будут продолжены в 2018 году в рамках новой Программы фундаментальных исследований РАН «Физика фундаментальных взаимодействий и ядерные технологии» с координатором Программы ак. В.А.Рубаковым.