**РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК**

**ПРОГРАММА ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**ПРЕЗИДИУМА РАН**

**Физика фундаментальных взаимодействий и ядерные технологии**

Номер программы: 3

**Аннотационный отчет**

**за 2018 год**

**Москва 2019**

**«УТВЕРЖДАЮ»**

**Президент**

**Российской академии наук**

**академик А.М.Сергеев**

**« » 2019г.**

**ПРОГРАММА ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**ПРЕЗИДИУМА РАН**

**Физика фундаментальных взаимодействий и ядерные технологии**

Номер программы: 3

**Аннотационный отчет**

**за 2018 год**

**Координатор программы**

**академик В.А.Рубаков**

**……………….(………………)**

Секретарь программы

Л.Б.Безруков

**……………….(………………)**

Секретарь программы

Ю.Г.Куденко

**……………….(………………)**

**Введение**

Программа фундаментальных исследований президиума РАН «Физика фундаментальных взаимодействий и ядерные технологии» в 2018 году включала в себя 59 проектов и подпроектов. Программу выполняли три головные организации: ИЯИ РАН, ФИАН и ФТИ им. Иоффе. В исследованиях участвовали 6 академиков, 8 членов-корреспондентов РАН, 68 докторов, 185 кандидатов, 350 научных сотрудников, 105 молодых научных сотрудников и аспирантов в возрасте до 29 лет включительно.

В рамках этих проектов проводились экспериментальные исследования по физике высоких энергий и нейтринной физике и астрофизике, ускорительной и неускорительной физики частиц. Исследования поводились на ускорителе LHC(БАК) в международном европейском исследовательском центре ЦЕРН, в ФНАЛ (США), J-PARC и КЕК (Япония) на Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ РАН (БНО ИЯИ РАН), на Байкальской нейтринной обсерватории ИЯИ РАН и в других исследовательских центрах.

Важнейшими результатами 2018 года при выполнении данной темы являются:

1. Коллаборация LHCb (ЦЕРН) сообщила о наблюдении новых структур в обоих массовых спектрах Λ0bπ- и Λ0bπ+, полученных из данных *p-p* соударений с интегральной светимостью 3/фб. Эти новые состояния ∑b(6097)± , соответствуют *1Р* возбуждениям барионов с *bottom*-кварком *buu* и *bdd*. Но нельзя исключить, что новые структуры – это суперпозиции нескольких состояний с близкими массами. Другие интерпретации, такие как молекулярные состояния, также возможны. Новые структуры наблюдены с высокой достоверностью >12 σ. При этом базовые состояния ∑b± и ∑b\*± также наблюдены и подтверждают результаты CDF. Массы и ширины распределений измерены с точностью в 5 раз превышающей предыдущие измерения. Полученный результат является первым наблюдением новых массовых структур и наиболее точным измерением в отдельном эксперименте в мире. (ИЯИ РАН) Гущин.
2. В эксперименте DANSS, проводимом интернациональным объединением физиков на Калининской атомной станции (Россия) получены ограничения на параметры стерильного нейтрино, являющиеся лучшими в мире для большой области разностей квадратов масс нейтрино и исключающие значительную область параметров стерильного нейтрино. (ОИЯИ, ФИАН, КИ) ак. М.В.Данилов (ФИАН)
3. Развернут и введен в эксплуатацию на оз. Байкал третий кластер нейтринного телескопа Baikal-GVD. С его вводом эффективный объем телескопа Baikal-GVD достиг значения 0.15 км3, что уже составляет около 0.4 от эффективного объема IceCube в задаче регистрации ливней от нейтрино высоких энергий астрофизической природы. Выполнен анализ данных 2017 года, позволивший получить верхние ограничения на поток нейтрино высоких энергий от события GW170817, зарегистрированного детекторами гравитационных волн (ИЯИ РАН, ОИЯИ). Чл.-корр. Г.В.Домогацкий
4. В международном эксперименте Т2К (Япония), выполняемом с участием российских специалистов, проведены исследования осцилляций мюонных нейтрино и антинейтрино в электронные нейтрино и антинейтрино, и впервые получено указание на нарушение СР симметрии в нейтринных осцилляциях с наиболее вероятной величиной СР нечетной фазы около ~ 90 градусов. СР сохранение исключено на уровне статистической значимости более 2сигма. (ИЯИ РАН). Ю.Г.Куденко

Исследования проводились в основном международными коллаборациями с участием российских институтов – участников Программы. Всего опубликовано в 2017 году 580 статей в рецензируемых изданиях.

Сайт Программы фундаментальных исследований президиума РАН «Физика фундаментальных взаимодействий и ядерные технологии»: http://pfint.inr.ru/

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

18 участников проекта, 9 докторов наук, 9 кандидатов наук

ученых до 35 лет, студентов и аспирантов нет

В рамках БРСТ-БВ формулировки изучены безмассовые и массивные поля непрерывного спина в плоском пространстве. Для таких полей получен БРСТ-БВ калибровочно-инвариантный лагранжиан. Лагранжиан и калибровочные преобразования построены в терминах бесследовых полей и бесследовых параметров калибровочных преобразований. Показано что БРСТ-БВ лагранжиан в калибровке Зигеля сводится к лагранжиану, который обладает глобальными БРСТ и анти-БРСТ симметриями. В рамках конусной формулировки релятивистской динамики изучены безмассовые поля произвольного спина в 4-мерном пространстве анти-де Ситтера. В терминах физических полей построены все кубические вершины взаимодействия для трех безмассовых полей произвольного спина, которые включают все степени по поперечным пространственным производным от первой степени до суммы спиральностей трех полей в вершине. Вычислен поляризационный оператор фотона в древесном и однопетлевом приближениях при включении аксион-дифотонного взаимодействия. Произведено сравнение с результатами квантовой электродинамики сильного поля, относящимися, в частности, к поляризации рентгеновского теплового излучения поверхности нейтронной звезды. Дано определение обобщенной скобки Дирака в терминах супер-наблюдаемых, коммутирующих с фундаментальным БФВ-БРСТ зарядом. Изучен вопрос о существовании механической системы с тремя степенями свободы помимо кулоновской, обладающей шестью первыми интегралами, гамильтоновы потоки которых порождают группу Ли *SO(4)* канонических преобразований некоторой области фазового пространства. Приведён пример системы, не являющейся центрально-симметричной, но обладающей симметрией *SO(4).* Выполнен сравнительный анализ разных схем квантования, включая операторное и деформационное, системы электрон-магнитный монополь с использованием методов теории расслоений. Исследованы свойства расширенных алгебр мультипликаторов Вейля-Мойала, используемых в строгом деформационном квантовании и некоммутативной квантовой теории поля. Предложена производящая BRST формулировка безмассовых бозонных и фермионных полей произвольного типа симметрии в d-мерном пространстве Минковского. В зависимости от значения некоторого вещественного параметра предложенная система описывает либо поля со спиральностью, либо поля непрерывного спина. Путем редукций производящая формулировка сводится к ряду эквивалентных описаний, включая триплетную, Фанга-Фронсдала-Лабастиды, конусную, а также развернутую формулировку. Уравнения Швингера-Дайсона для функций Грина и 3-вершин в лестничном приближении воспроизведены на языке однопетлевых диаграмм Виттена в рамках AdS / CFT соответствия. Исследована структура присоединённых и твист-присоединенных конформных модулей, реализованных на семействе бесконечномерных алгебр , получаемых при факторизации конформной алгебры высших спинов , предложенной Фрадкиным и Линецким, по идеалу , параметризованному действительным числом . Показано, что независимо от  развёрнутая система уравнений, отвечающая этим модулям, описывает линейные конформные уравнения для полей каждого спина , где каждое поле встречается один раз. Публикации – 14, доклады -5

**Проект 4: Исследование взаимодействия элементарных частиц с нуклонами и ядрами на ускорительно-накопительных комплексах ЦЕРН и ядерно-физических установках ФИАН.** Руководитель О.Д.Далькаров, ФИАН

Список исполнителей: чл.-корр.РАН -1, д.ф.-м.н. – 9, к.ф.м.-н. – 16, аспирант – 1, студ. – 2.

11 участников до 35 лет

Подроект: «Обработка и анализ экспериментальных данных коллаборации CMS (КМС) в ЦЕРН по взаимодействиям протонов и ядер и их теоретическая интерпретация в сочетании с данными других коллабораций».

В 2018 году по данной теме были измерены характеристики процессов с рождением струй в pp столкновениях при энергии 13 ТэВ, в том числе, изучались импульсный дисбаланс, корреляции и множественность адронных струй как функции множественности заряженных частиц, а также была исследована зависимость многопартонных взаимодействий с помощью азимутальных корреляций.

В результате анализа формы области неупругого взаимодействия протонов при энергиях столкновений равных 7 и 13 ТэВ, при помощи условия унитарности и различных физический предположений об амплитуде упругого рассеяния, было показано, что знак мнимой части амплитуды рассеяния при больших переданных импульсах особо важен для описания центральных столкновений (т. е. столкновений с малым прицельным параметром).

Подпоект: **Результаты, полученные на детекторе АТЛАС**  
 Произведенные в рамках работ по модернизации электроники жидкоаргоновой подсистемы детектора АТЛАС (Фаза1) оптические патч-корды в колличестве 760 штук доставлены в ЦЕРН и после финального углубленного тестирования со снятием рефлектограмм для каждого оптического волокна были переданы в BNL (Brookhaven National Laboratory) для установки в модули LTDB (LAr Trigger Digitizer Board — платы оцифровки триггерных сигналов электроники жидкоаргонового калориметра). Все обязательства по фазе 1 выполнены.

Впервые наблюден в эксперименте на детекторе ATLAS распад бозона Хиггса в предсказываемую в Стандартной модели пару bbarb.с одновременным рождением W или Z бозонов. Данные, соответствующие интегральнойсветимости 79.8fb-1, были получены в протон-протонных столкновениях при энергии 13TeV в системе центра масс.  
Для массы бозона Хиггса 125GeV обнаружено превышение событий над ожидаемым фоном от других процессов Стандартной модели с наблюдаемой (ожидаемой) значимостью 4,9 (4,3) стандартных отклонений, что указывает на отсутствие отклонений от предсказаний Стандартной модели.

Подпроект: **Физика ультрахолодного антиводорода.**

Предсказано аномально большое время жизни антиводорода в гравитационных состояниях на пленке жидкого гелия; предложен новый подход к прецизионному измерению гравитационной массы антиводорода интерференционным методом в эксперименте Gbar; предложен новый метод исследования гравитационных состояний водорода.

Публикации – 200, доклады -9

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

**Руководитель: С.Н.Гниненко,**  **ИЯИ РАН** Число участников проекта: 4 , из них 1 человек моложе 35 лет, 1 студент.

В проекте были успешно получены атомы позитрония в магнитном поле 1Т. Введение дополнительных магнитных корректоров в области инжекции позитронного пучка в поле 5Т позволило решить эту задачу. Вектор магнитного поля, создаваемого корректором, был направлен вертикально. Приход позитронного пучка на мишень регистрировался по детектированию γ квантов от аннигиляции позитронов и атомов позитрония, вылетающих в вакуум из мишени-конвертора. Эффективное возбуждение атомов позитрония в Ридберговские состояния осуществлялось следующим образом.Включение лазеров и подача лазерного резонансного излучения в область мишени для возбуждения позитрония приводит к изменению формы сигналов, проинтегрированных по множеству отдельных событий аннигиляции позитронов. Включение лазеров приводит к увеличению сигнала в области долгоживущих состояний позитрония. Разработан метод быстрой диагностики высоковозбужденных атомов позитрония Метод основан на регистрации позитронов, образующихся при ионизации высоковозбужденных атомов позитрония, высокочувствительным детектором с микроканальной пластиной.

Публикации – 4, доклады -1

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

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

Получены новые рекордные ограничения на массы правого WR-бозона и тяжелого нейтрино в рамках лево-правосимметричной модели на основе использования сигнатуры с двумя изолированными лептонами первого и второго поколений и двумя адронными cтруями. Также для модели с преимущественными распадами WR-бозона и тяжелого нейтрино на тау-лептоны получены аналогичные ограничения на массы WR-бозона и тяжелого нейтрино.

Были продолжены исследования группы ПИЯФ-ИТЭФ-ИЯИ в эксперименте CMS по поиску указаний на проявление новых эффектов асимптотической динамики КХД в данных CMS на БАК. Уточнение теоретического и экспериментального поведения асимптотической КХД в новом, ранее недостижимом, режиме, позволяет сильно расширить кинематическую область поисков новой физики за пределами Стандартной модели. В 2018 г. были исследованы отношения сечений инклюзивных двухструйных событий к выходу двухструйных событий как функции относительной быстроты между струями с вето на дополнительные струи по поперечному импульсу с использованием данных при энергии 2,76 ТэВ, 7 ТэВ и 8 ТэВ. Кроме отношений сечений были также измерены абсолютные значений сечений для двухструйных инклюзивных событий и событий, где учитываются только пары струй с максимальным разделением по быстроте (пары струй Мюллера-Навеле). Получены четкие и ясные доказательства проявления эффектов БФКЛ-померона в КХД-процессах с наличием адронных струй.

Опубликовано 8 статей, сделано 4 докладов на конференциях

**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.В эксперимент NA62 (ЦЕРН) после анализа данных, накопленных в 2015-2016 годах, было зарегистрировано первое событие сверхредкого распада K+ 🡪 π+νν. Ожидаемое число на основании предсказания Стандартной Модели дает величину 0.267, а фоновые события составляют величину 0.152± 0.09. Соответствующий верхний предел на вероятность этого распада получается равным Br(K+→ π+νν) < 14×10-10. Этот первый результат основан примерно на 2% полной статистики, набранной в 2016-2017 гг.

2.В рамках нейтринной платформы ЦЕРН был создан магнитный нейтринный детектор Baby-MIND. В январе 2018 года была начата установка и настройка детектора на нейтринном канале осцилляционного эксперимента с длинной базой Т2К. Детектор зарегистрировал первые нейтринные события на пучке Т2К в мае 2018 г. Предварительные результаты анализа показывают, что полученные параметры Baby-MIND удовлетворяют требованиям, необходимым для измерения нейтринных сечений при энергии около 1 ГэВ. Группа ИЯИ также разработала и создала прототип 3D сегментированного сцинтилляционного детектора (SuperFGD), который будет установлен в качестве нейтринной мишени в ближнем детекторе ND280 эксперимента Т2К.

Публикации – 10, доклады на конференциях и школах – 22, 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.

Коллаборация LHCb сообщила о наблюдении новых структур в обоих массовых спектрах Λ0bπ- и Λ0bπ+, полученных из данных *p-p* соударений с интегральной светимостью 3/фб. Эти новые состояния ∑b(6097)± , соответствуют *1Р* возбуждениям барионов с *bottom*-кварком *buu* и *bdd*. Но нельзя исключить, что новые структуры – это суперпозиции нескольких состояний с близкими массами. Другие интерпретации, такие как молекулярные состояния, также возможны. Новые структуры наблюдены с высокой достоверностью >12 σ. При этом базовые состояния ∑b± и ∑b\*± также наблюдены и подтверждают результаты CDF. Массы и ширины распределений измерены с точностью в 5 раз превышающей предыдущие измерения. Полученный результат является первым наблюдением новых массовых структур и наиболее точным измерением в отдельном эксперименте в мире.

Публикации- 57 статей, 10 электронных препринтов.

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 Т.Л.Каравичева**

На установки ALICE в ЦЕРНе, были измерены дифференциальные (по быстроте и поперечному импульсу) сечения инклюзивного рождения J/ψ в pPb взаимодействии, извлечены соответствующие факторы ядерной модификации. Высокой точности результатов удалось достичь благодаря малой (<1%) погрешности измерения светимости с помощью детектора T0. Были измерены сечения образования адронов, содержащих b-bbar-пару и определено влияние ядерной среды на такие процессы, выделен вклад прямого рождения J/ψ. Была создана модель, позволяющая оценить долю связанной спектаторной материи в общем количестве спектаторных нуклонов, которая может уточнить метод определения центральности. Модель предполагает образование горячего спектаторного префрагмента, который затем распадается на ядерные фрагменты и отдельные нуклоны. Модель реализована методом Монте-Карло на основе модели Глаубера (Glauber Monte Carlo) и статистической модели распада возбуждённых ядер (SMM) из библиотеки Geant4.

Публикации – 2, доклады на конференциях -1

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., 3 молодых ученых).

В 2018г. на установке NA61/SHINE в ЦЕРНе завершена программа экспериментов по поиску и исследованию начала деконфайнмента и поиску критической точки фазового перехода в сильно взаимодействующей ядерной материи. Начиная с 2011г., на этой установке был выполнен ряд экспериментов по измерению выходов заряженных частиц в столкновениях легких и тяжелых ядер при энергиях налетающих частиц в диапазоне энергий от 13 до 150 ГэВ АГэВ.

Предварительный анализ полученных данных показывает, что наблюдается эффект перемежаемости для центральных событий в столкновениях ядер аргона и скандия при кинетической энергии налетающих ионов аргона 150 АГэВ. Такой эффект не наблюдается при столкновениях ядер свинца и бериллия при тех же энергиях. Возможно, что наблюдаемый эффект является первым указанием на обнаружение критической точки фазового перехода. Ведется дальнейший анализ полученных экспериментальных данных.

Публикации – 7, доклады на конференциях – 2.

**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 эксперименте CLOUD/PS215(ЦЕРН) проведен анализ скоростей образования частиц (кластеров) в системе H2SO4-Диметиламин-Н2О с учетом эффекта самокоагуляции, приводящего к существенным потерям малых частиц-образований (размером 1.7-3.2 нм). Учет результатов такого анализа позволил объяснить процесс образования кластеров с размерами до 30 нм в рамках аэрозольной модели, включающей в себя процесс молекулярных столкновений при нуклеации (collision-controlled nucleation). Это позволяет объяснить характеристики H2SO4-Диметиламин-Н2О нуклеации, наблюдаемой в земной атмосфере.

Публикации -2.

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. Форма сгустков является обобщенной характеристикой, позволяющей судить и об иных характеристиках пучка, а также о настройке ускорителя и качестве пучка в целом. Основные работы по созданию двух измерителей в ИЯИ РАН для ускорителя Linac-4 ЦЕРН были завершены в 2016 году. Были выполнены сборка, наладка, лабораторные испытания, испытания с пучком и проведены измерения характеристик пучка. К 2018 году первый измеритель был установлен непосредственно на выходе ускорителя, второй – на расстоянии примерно 35 м от выхода ускорителя. Работоспособность измерителей, нарушенная при проведении монтажных работ, была восстановлена, поэтому в 2018 году появилась возможность систематических исследований продольных характеристик. Кроме того, значительно улучшена стабильность ускоряющих полей в резонаторах, что позволяет получать более устойчивые результаты с помощью первого измерителя и получать устойчивые результаты с помощью второго измерителя. Были проведены изменения продольных распределений в номинальном режиме работы ускорителя, а также при изменении амплитуд и фаз полей в ряде ускоряющих резонаторах. Проведены измерения при работе чоппера пучка в различных режимах. Совместное использование двух измерителей дало возможность оценить разброс частиц по энергиям.

Доклады на конференциях - 1

**Проект 21: “Физика и технология кремниевых детекторов для ядерной физики и астрофизики; исследования вырожденных звезд и остатков сверхновых как источников нейтрино и космических лучей”**

Руководители проекта: к.ф.-м.н. В. К. Еремин, д.ф.-м.н. А.М. Быков, ФТИ им.А.Ф.Иоффе РАН

Число участников проекта: 9, в т.ч. 2 д.ф.-м.н., 4 к.ф.-м.н.

4 участника проекта до 35 лет, в т.ч., 1 к.ф.-м.н. до 35 лет, 2 аспиранта

В продолжение исследований свойств атомов фосфора в кристаллической решетке кремния исследованы формы тока импульсного фотоответа в диапазоне температур 7-300 К в режимах полного и частичного обеднения детекторов. Подтвержден эффект аномально сильного влияния электрического поля на энергию ионизации фосфора как донорной примеси. Выполнены оценки роли механизма туннелирования электронов сквозь возмущенный электрическим полем потенциал, показавшие значимость этого механизма в ионизации уровней.

Предложен новый алгоритм обработки данных, полученных методом переходного тока, с целью определения профиля эффективной концентрации объемного заряда в чувствительной области кремниевых детекторов. Метод и его приборная реализация позволяют осуществить «in situ» контроль прецизионной подстройки плотности избыточного объемного заряда в чувствительной области детектора при дозированном радиационном воздействии, которая определяет рабочее напряжение детектора и его сигнал. Выполнены исследования по воздействию гамма-квантов 60Co с энергией 1.2 МэВ на сверхчистый кремний с удельным сопротивлением 20-25 кОм×см. Установлено, что скорости введения радиационных дефектов акцепторного и донорного типов оказываются близкими из-за низкой концентрации атомов кислорода, снижающей образование основного акцепторного центра V2O. Проведен анализ возможности использования для подстройки электрического поля в детекторах на основе сверхчистого кремния мульти-вакансионных дефектов, возникающих при воздействии адронов высоких энергий или нейтронов. Анализ результатов, полученных на протонах, показал, что необходимая технологическая доза для управления эффективной концентрацией объемного заряда лежит в пределах 1010 – 1012 см-2.

Для инструментальной реализации “in situ” контроля технологии радиационной подстройки концентрации объемного заряда в чувствительной области кремниевых детекторов проведены технологические разработки, необходимые для изготовления тестовых кремниевых P-I-N структур с повышенной радиационной стойкостью. Разработана топология тестовых кремниевых P-I-N структур с размером чувствительной области 5х5 мм2, обеспечивающих фото-чувствительность структур на обеих сторонах и оценочное временное разрешение лучше 4х10-10 с и изготовлена их пробная партия.

Выполнен анализ данных, полученных с “edgeless” детекторами, используемыми в эксперименте CERN-TOTEM и получившими дозу нейтронов до 1014 см-2. Проведена оценка состояния и перспектив использования детекторов на основе алмаза в экспериментальной физике высоких энергий. Несмотря на ряд проблем и, в первую очередь, поляризацию детекторов при высоких интенсивностях потоков регистрируемых частиц, наблюдается прогресс качества CVD монокристаллических слоев алмаза и структур на их основе.

Выполнен обзор результатов многоволновых наблюдений множественных проявлений сверхновых звезд и их остатков как источников экстремального энерговыделения, в частности, источников гамма-всплесков. Дан обзор современных моделей ускорения нетепловых релятивистских частиц и усиления флуктуирующих магнитных полей в оболочках и остатках сверхновых звезд, рассмотрены перспективы проверки этих моделей с помощью наблюдений на орбитальных и наземных телескопах.

Вычислена объемная вязкость внешнего ядра колеблющейся нейтронной звезды, состоящего из нуклонов, электронов и мюонов и примыкающего к слою ядерной пасты на границе между корой и ядром, обусловленная неравновесными модифицированными урка-процессами во внешнем ядре звезды с участием электронов и мюонов. Детально проанализирована зависимость объемной вязкости от плотности, положения порога рождения мюонов, температуры и частоты колебаний звезды. Исследован переход от динамического высокочастотного предела к квазистатическому пределу при уменьшении частоты колебаний звезды. Отмечена инверсия зависимости объемной вязкости от температуры при таком переходе, а также необычайно большая величина объемной вязкости в квазистатическом пределе. Полученные результаты важны для моделирования слияния нейтронных звезд в тесных двойных системах и генерации соответствующего всплеска гравитационного излучения.

Статьи 5.

**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 2018 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** Число участников проекта 48, моложе 35 лет – 8.

Развернут и введен в эксплуатацию на оз. Байкал третий кластер глубоководного нейтринного телескопа Baikal-GVD. С его вводом эффективный объем телескопа Baikal-GVD достиг значения 0.15 км**3**, что уже составляет около 0.4 от эффективного объема IceCube в задаче регистрации ливней от нейтрино высоких энергий астрофизической природы. Выполнен анализ данных 2017 года, позволивший получить верхние ограничения на поток нейтрино от гравитационно-волнового события GW170817. Работу над проектом вела группа российских институтов - Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерных исследований Российской академии наук (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).

Публикации -11, доклады на конференциях 10, защита докторской диссертации -1

**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».

В 2018 году проводились расчеты отклика кремниевого детектора при регистрации электронов от распада трития. Такие расчеты важны для сравнения с экспериментом и для дальнейшего использования при оценке числа событий ниже порога регистрации аппаратуры. В 2018 году в первом сеансе в апреле участвовала группа из Института Макса Планка, Мюнхен. Образцы 7-пиксельных детекторов были прокалиброваны на различных источниках электронов доступных только на «Троицк ню-масс». Это электронная пушка с энергией до 20 кэВ, электроны автоэмиссии при определенной конфигурации магнитных полей, и электроны от трития. Электроника эффективно математически подавляла шумы с использованием трапецеидального метода обработки формы оцифрованного сигнала. Детектор показал очень хорошие параметры по уровню шумов и энергетическому разрешению, которое составило примерно 400 эВ (ширина на полу высоте) для электронов с энергией 20 кэВ. Дальнейшее лучшение шумов возможно с применением численных фильтров шумов.

Публикации – 3.

**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.

1. Для проведения тестового мониторинга выполнен монтаж и наладка радио - электронных систем термо стабилизации акустического детектора на уровне температурных вариаций ~ 0.01 С.

2. Осуществлена прецизионная юстировка зеркал и согласование оптических мод с излучением накачки. В итоге: а) достигнут рекордно узкий оптический резонанс ; экспериментальная оценка резкости (числа многократных отражений) составила 25 тыс.- величину предельную для данной конструкции антенны: б) достигнут высокий уровень контраста 50% при оптической мощности в 20 -50 мвт. Результатом этой модернизации явился возросший на два порядка коэффициент преобразования гравитационного возмущения в измеряемый выходной оптический сигнал. Это расширило полосу эффективного приема (зону высокой чувствительности) на порядок от 3до 30 Гц вокруг резонансной частоты акустического детектора. При этом была использована новая конструкция крепления зеркал к детектору сохраняющая добротность акустической моды на уровне ненагруженного детектора ~160 тыс..

3. Экспериментально выполнено исследование баланса акустических, оптических и электронных шумов по отношению к шумам окружения;

Увеличение коэффициента преобразования антенны после перехода к зеркалам высоких технологий привело к потере помехоустойчивости по отношению к сейсмическим и акустическим шумам (главным образом за счет их воздействия на оптический тракт (светопровод) и опорный резонатор, расположенных на оптическом столе вне камеры опто-акустического детектора). Были приняты специальные меры по восстановлению помехоустойчивости, в том числе: - замена легкого оптического стола (платформы светопровода) ~ 70 кг на существенно более тяжелый (инерционный) ~ 700 кг; -.замена патрона-держателя опорного резонатора (дискриминатора) вертикальной конфигурации на многозвенный антисейсмический фильтр [9 звеньев, общая масса ~100 кг (при массе резонатора 32 кг), частота среза в нагруженном состоянии ~ 3-5 Гц ]; подавление сейсмики выше частоты среза более трех порядков по амплитуде) ;- установка звукопоглощающего колпака на камеру опорного резонатора, с ослаблением амплитуды звукового давления в 20 раз для частот выше 10 Гц.

Фильтрующие свойства каждого из перечисленных узлов тестировались отдельно. В комплексе восстановление помехоустойчивости антенны пока не исследовалось в связи с необходимостью адаптации её оптоэлектронных блоков под возросший уровень полезного сигнала.

**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

В течение 2018 года российские учёные из ИЯИ РАН принимали участие в эксперименте GERDA-II, расположенном в подземной Национальной лаборатории Италии Гран-Сассо (LNGS INFN). Целью эксперимента GERDA является поиск безнейтринного двойного бета распада изотопа Ge-76 (0νββ распвда). Российские учёные участвовали в эксплуатации действующей установки GERDA-II. Смонтирована в лаборатории Гран-Сассо установка по очистке отходов обогащённого германия, образовавшихся при изготовлении германиевых детекторов, и продемонстрирована работоспособность установки. Технология очистки была разработана в России. Начата разработка первой очереди эксперимента LEGEND-200, который является продолжением эксперимента GERDA. Российские учёные стали соавторами публикаций в составе коллаборации GERDA.

Детекторы Double Chooz (дальний и ближний) закончили набор статистики. Продолжается анализ данных. Получено новое значение угла смешивания тета13 при анализе событий реакции обратного бета распада с захватом нейтрона на водороде и гадолинии. Комбинированная величина для захватов нейтрона на водороде и гадолинии составляет sin2(2тета13) = 0.105±0.014. Улучшена систематическая погрешность измерения. Измерены выходы космогенных изотопов 8He и 9Li при захвате мюонов ядрами углерода 12С и 13С для ближнего и дальнего детекторов. Ведется анализ дополнительных источников антинейтрино в реакторных экспериментах.

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

1. По измерениям черенковского и флуоресцентного излучения широких атмосферных ливней на флуоресцентном телескопе TALE построен спектр в диапазоне энергий 1015.3-1018.2  эВ. Данные TALE совместно с измерениями наземной решетки и флуоресцентных телескопов Black Rock Mesa и Long Ridge обсерватории Telescope Array формируют спектр, покрывающий рекордно широкий диапазон энергий 1015.3-1020.0  эВ

2.Целью эксперимента NOvA (NuMI Off-axis νe Appearance) является определение параметров нейтринный осцилляций. На дальнем детекторе зарегистрировано 66 событий (ожидаемый фон 20 событий), от взаимодействия электронных нейтрино νe, , которые появились в пучке мюонных нейтрино из-за νμ -> νe осцилляций . В результате фитирования спектров мюонных и электронных событий, как функций параметров

*Δm232 | = |m23 -m22| -*  разности квадратов масс нейтрино, угла смешивания *θ23*

и фазы нарушения СР-инвариантности δСР получены 1σ доверительные интервалы для значений этих параметров при нормальная иерархии масс нейтрино (m1<m2<m3): *Δm232* (10-3эВ2) -[2.37, 2.52], sin2 (θ23) - [0.43, 0.51]и [0.52, 0.60], δСР(π) - [0, 0.12] и [0.91, 2]. Обратная иерархия масс нейтрино (m3<m1<m2) исключается на 90% доверительном уровне.

3. В 2018 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) измеряется как электронная, так и ранее не изучавшаяся компонента широких атмосферных ливней - тепловые нейтроны. Проводилось полномасштабное моделирование экспериментов, как уже проведенных на двух прототипах, расположенных на существенно различных уровнях наблюдения: на уровне моря (установка PRISMA-32) и на высоте 4300 м над уровнем моря (установка PRISMA-YBJ), так и первой очереди будущего эксперимента PRISMA-LHAASO из 64 эн-детекторов (4400 м над ур. моря, старое название - PRISMA-YBJ). Наклон полученного на прототипах степенного спектра по числу тепловых нейтронов в ШАЛ совпадает с наклоном -1.9, полученным ранее в эксперименте KASCADE для спектра по числу адронов. Восстановленный из него энергетический спектр космических лучей в области выше 1 ПэВ, имеет степенной вид с интегральным показателем 1.70-1.75, что хорошо согласуется с прямыми измерениями при энергиях ниже 1 ПэВ.

Публикации – 1 доклады на конференциях -1

**Проект 30:**

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

**Руководитель:** Ю.Г.Куденко ИЯИ РАН, Число участников проекта: 25 человек, из них 13 человек моложе 35 лет, 2 аспиранта, 9 студентов.

1.В нейтринном эксперименте Т2К проведены измерения осцилляций мюонных нейтрино и антинейтрино в электронные нейтрино и антинейтрино. Основываясь на комбинированном анализе полученных данных, а также данных реакторных экспериментов, эксперимент Т2К впервые получил указание на нарушение СР симметрии в нейтринных осцилляциях с наиболее вероятной величиной СР нечетной фазы около -90 градусов, соответствующей максимальному нарушению. Эксперимент Т2К исключил СР сохранение (δCP = 0 или π) на уровне статистической значимости более 2σ.

2. С использованием данных ближнего нейтринного детектора ND280 получены новые ограничения на параметры смешивания активных нейтрино и тяжелых массивных нейтрино. Результат Т2К на порядок превосходит предыдущее ограничение, полученное в эксперименте CHARM. Получено ограничение на легкие стерильные нейтрино из данных СуперКамиоканде, полученных с пучком нейтрино их J-PARC. В результате получены лучшие ограничения на параметр смешивания sin2θ24 в диапазоне масс нейтрино от 10-4 до 3×10-3 эВ2. Зарегистрированы первые нейтринные события (рис.5) от реакции квазиупругого рассеяния мюонных нейтрино в комбинации детекторов WAGASCI (мишень пластик + вода) и Baby-MIND (магнитный детектор).

Публикации – 8, доклады на конферецниях – 16, защита бакалаврских работ -2, защита магистерских работ - 2.

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

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.

В эксперименте OPERA впервые экспериментально установлено наличие осцилляций мюонных нейтрино в тау-нейтрино путем прямого наблюдения взаимодействий тау-нейтрино.

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.

Публикации – 5, доклады на конференциях -8, защита докторской диссертации -1

**Проект 33. Эксперимент Тунка/TAIGA**

Научный руководитель – Баярто Константинович Лубсандоржиев

Исполнители – Григорий Игоревич Рубцов, Владимир Иванович Лящук, Евгений Андреевич Дорошкевич, Сультим Баяртуевич Лубсандоржиев, Андрей Юрьевич Сидоренков, Иван Сергеевич Карпиков, Никита Андреевич Ушаков, Дмитрий Михайлович Воронин.

В 2018 году выполнялись работы по обработке данных калибровочных измерений первой очереди из 28 оптических пунктов черенковского широкоугольного детектора TAIGA-HiSCORE. Поведенные прецизионные калибровочные измерения с использованием разработанных нами быстродействующих источников света на базе синих светодиодов InGaN высокой мощности позволили провести с детектором TAIGA-HiSCORE измерение энергетического спектра первичных космических лучей с пониженным энергетическим порогом ~150 ТэВ. В полученном энергетическом спектре первичных космических лучей наблюдается довольно хорошее согласие с данными эксперимента HAWC. Результаты экспериментов TAIGA-HiSCORE и HAWC хорошо сшиваются с данными прямых измерений космических лучей, выполненных в спутниковом и баллонном экспериментах НУКЛОН и ATIC-2 соответственно.

Проведены калибровочные измерения камеры первого атмосферного черенковского телескопа изображения эксперимента TAIGA - TAIGA-IACT. С помощью данных калибровочных измерений отрабатываются методы выделения событий, инициированных гамма-квантами высоких энергий. Получены первые “гибридные” события, т.е. события в детекторе TAIGA-HiSCORE и телескопе изображения TAIGA-IACT, совпадающие по времени.

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

**Рук. ИЯИ, В.В.Кузминов** Число участников проекта: 10 человек.

Число участников проекта до 35 лет: 1 человек.

Число аспирантов и студентов участников проекта: 1 человек.

1.В 2018 году в результате обработки наземных данных был получен значение периода полураспада 212Ро **τ=**294.09±0.07 нс и точно такое же значение (…±0.08 нс) для подземных данных. В рядах данных была обнаружена солнечно-суточная вариация с амплитудой ASo=(7.5±1.7stat±3.3sist)∙10-4 **=**(7.5±4.1)∙10-4 для подземного набора данных и ASo=(11.7±5.2)∙10-4 для наземного набора данных. Измерения продолжаются.

2.На установке ТАУ-3 с источником 229Th, расположенной в низкофоновой лаборатории НЛГЗ-4900, набрана статистика за 1177 дней (июль 2015–сентябрь 2018), 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. При построении ряда значений периода полураспада, усреднённых за неделю обнаружилось, что начиная с ~45 недели величина периода полураспада начала расти и в конце обработанного интервала (длительность набора 742 дня) значение **τ** увеличилось на ~0.6% по сравнению со средним значением за первые 320 суток (τ=(3.6993±0.0014) мкс).

Публикации - 3

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.По данным Баксанского подземного сцинтилляционного телескопа (БПСТ) проведен поиск электронных нейтрино и антинейтрино с энергией выше 21 МэВ в совпадении с гравитационно-волновыми событиями GW150914, GW151226, GW170104, GW170608, GW170814 и GW170817. В интервале ±500 секунд от гравитационно-волновых событий нейтринных сигналов на БПСТ обнаружено не было. Получены ограничения на потоки электронных нейтрино и антинейтрино низкой энергии от астрофизических источников гравитационных всплесков.

2. Поиск астрофизических источников гамма-излучения с энергией выше 1 ПэВ проведен по экспериментальным данным установки “Ковер-2” за 3080 суток чистого времени набора информации. Поиск был проведен для 4-х источников высокоэнергичного гамма-излучения (Crab, Cyg X-3, Mrk 421 и Mrk 501) и гипотетических источников нейтрино высокой энергии, зарегистрированных нейтринным телескопом IceCube. Рассматривались 34 нейтринных события IceCube из северной полусферы (попадающих в поле зрения установки “Ковер-2”), направления прихода которых определены с точностью не хуже 3 градусов. Ограничение на поток гамма-квантов с энергией выше 1 ПэВ получено для направлений прихода всех 34 событий IceCube. Получены ограничения на поток гамма-квантов с энергией выше 1 ПэВ для объектов Crab, Cyg X-3, Mrk 421 и Mrk 501.

Публикации -10, доклады – 12.

**Проект 39.** Исследование космических лучей на высокогорных установках ФИАН, мониторинг излучений на уровне Земли, в атмосфере и космическом пространстве.

**Руководитель Рябов В.А. ФИАН**

Число участников проекта - 18, количество докторов - 6, количество к.ф.м.н. - 9

Число учёных-участников проекта до 35 лет - 2

Число аспирантов и студентов участников проекта - 1.

В эксперименте АДРОН с использованием уникальной методики, объединяющей ШАЛ и рентгеноэмульсионную камеру обнаружен двукратный избыток мюонов в ШАЛ с высокоэнергичными гамма-квантами. По традиционным моделям эти события образуются протонами и должны содержать минимальное число мюонов. Подтверждение этого эффекта другой методикой может привести к кардинальному изменению модели ядерных взаимодействий.

Анализ данных, полученных на рентгено-эмульсионных камерах эксперимента АДРОН при энергиях в интервале 1-100 ПэВ, показал утяжеление массового состава с ростом энергии.

Обнаружена аномалия в потоке первичных космических лучей с энергиями в области “колена” (1 – 10 ПэВ), в которой наблюдается поток частиц с более легким массовым составом и большей магнитной жесткостью, чем из других направлений. Это может свидетельствовать о существовании в том направлении близкого источника первичного космического излучения.

Разработаны многоярусные устройства для стимулирования восходящего потока воздуха в атмосфере. Поток дополнительно насыщается ионами в качестве дополнительных центров конденсации атмосферного пара, концентрация которых на три порядка превышает среднюю естественную концентрацию ионов от космических лучей в атмосфере. Проведена оценка возможности влияния ионизирующей способности ШАЛ на процессы конденсации влаги в атмосфере.

Развит аналитический подход для расчета поля радиоизлучения от каскадов, которые были инициированы взаимодействиями космических лучей и нейтрино сверхвысоких энергий в плотных средах, таких как наземные ледяные массивы или лунный реголит. Получено решение задачи для поля радиоизлучения каскада с учетом границ раздела нескольких сред.

Усовершенствованы алгоритмы выделения полезных событий для космического эксперимента по регистрации высокоэнергичных каскадов от взаимодействия космических лучей и нейтрино в лунном реголите.

На основе рассмотрения роли Сверхновых 1а типа в космическом сценарии происхождения жизни получены указания в пользу того, что роль сахаров (рибозы) в происхождении жизни является главной по сравнению с аминокислотами.

Продолжена модернизация детекторных систем на Тянь-Шанской высокогорной научной станции ФИАН, усовершенствованы системы временной синхронизации и триггерного запуска детекторов комплекса.

В результате исследований излучений, сопровождающих грозовые разряды, обнаружены "темные" разряды, которые характеризуются полным отсутствием излучения в оптическом диапазоне. Также обнаружены вспышки со значительным преобладанием интенсивности в ультрафиолетовом диапазоне и “красные” вспышки с интенсивным сигналом в инфракрасной области спектра при отсутствии сигнала в ультрафиолете.

Подпроект **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.

Получены новые экспериментальные данные о потоках заряженных частиц в атмосфере на высотах от уровня земли до 30-35 км в северных полярных широтах, в Антарктиде и на средних широтах и данные о потоках космических лучей (КЛ) по измерениям на уровне земли на российских нейтронных мониторах (14 станций), мюонных телескопах (3 детектора) в период глубокого минимума солнечной активности.

Показано, что модуляция КЛ за текущий 24-й цикл солнечной активности оказалась самой слабой за время наблюдений КЛ в 19-24 солнечных циклах, достигнув своего минимального значения в октябре 2018 г.

Определены спектр вариаций плотности галактических (КЛ) и поведение векторной анизотропии КЛ. Выделены специфические возмущения (Форбуш-эффекты) в КЛ.

**Проект 42. Исследование физики тяжёлых кварков и лептонов**

Рук: ак. М. В. Данилов.

Число участников, членов РАН, докторов, кандидатов – 16, 3, 3, 5

Число ученых до 35 лет - 8

Число аспирантов и студентов – 10, 21

Введен в эксплуатацию детектор мюонов и короткоживущих каонов установки BELLEII, содержащий 16 тысяч сцинтилляционных счетчиков с кремниевыми фотоумножителями.

В эксперименте Belle измерена энергетическая зависимость сечений процессов e+e−→ϒ(nS)π+π− (n=1,2,3), в которых впервые обнаружена новая структура вблизи ~10.75 ГэВ. В эксперименте Belle осуществлен поиск процессов ϒ(4S)→ηb(1S)ω, ϒ(5S)→ηb(1,2S)ω, ϒ(5S) →χb0(1P)ω, на относительные вероятности которых впервые установлены верхние пределы. В эксперименте Belle осуществлен поиск распадов B-мезонов в конечные состояния, содержащие чармоний. Измерена чувствительность к вероятности распада B+ → hcK+.

Предложен подход к описанию свойств экзотических околопороговых состояний, основанный на системе уравнений связанных каналов. С его помощью проанализированы данные Belle по каналам рождения и распада экзотических заряженных состояний Zb(10610) и Zb(10650) в спектре боттомония и извлечены параметры взаимодействия в системе (низкоэнергетические константы и константы связи каналов), а также положение соответствующих им полюсов матрицы рассеяния в комплексной плоскости энергии.

По результатам испытаний в ЦЕРН получены первые характеристики инженерного прототипа высокогранулярного калориметра для будущего линейного коллайдера. Световыход сцинтилляционных счетчиков с прямым считыванием SiPM составил 16 ф.э.на МэВ.

Группой ФИАН-МИФИ в CMS были опубликованы работы по изучению возбужденных состояний Bs мезона и поиску экзотического состояния Х(5568)

Был разработан новый метод измерения *СР*-нечётной компоненты бозона Хиггса в эксперименте ILD на электрон-позитронном линейном коллайдере и продемонстрирована хорошая точность метода на модельных событиях.

В эксперименте DANSS получены ограничения на параметры стерильного нейтрино, являющиеся лучшими в мире для большой области разностей квадратов масс нейтрино и исключающие значительную область параметров стерильного нейтрино.

Список публикаций - одна монография и 180 статей в реферируемых журналах,

из них 148 статей коллаборации CMS.

Доклады на конференциях и Школах – 28, включая доклад на ICHEP-2018

Дипломные - 3 бакалаврских и 2 мастерских

**Проект 44. Теория струн, конформная теория поля и теория гравитации.**

**Руководители проекта академик А.А. Старобинский и член-корр. РАН А.А. Белавин.**

Число участников проекта 18, число участников проекта до 35 лет 3, число аспирантов и студентов участников проекта 2.

1. В 2018 г. был предложен новый метод явного вычисления метрики пространства модулей многообразий Калаби-Яу. Метод использует связь пространства модулей с некоторой алгеброй Фробениуса. В работе разъясняется этот подход и демонстрируется его эффективность, вычислением Специальной геометрии из 101-мерного пространства модулей Квинтики. В работе Изучается связь между точечными статистическими суммами линейных сигма-моделей N = (2,2) на S(2) и Келеровых потенциалах на пространствах модулей Калаби-Яу многообразий, предложенных Джокерсом и др. Изучены новые конформные теории поля с W симметрией, коммутирующей с экранирующими операторами общего вида. Найдено, что эти КТП имеют локальные и нелокальные интегралы движения и допускают изучение пертурбативными методоми в режиме слабой связи. Построена соответствующая теория рассеяния, совместимая с с нелокальными интегралами движения и теорией возмущений.

2. Рассмотрен механизм Паули-Зельдовича для сокращения ультрафиолетовых расходимостей в суммарном среднем вакуумном значения тензора энергии-импульса квантовых полей в плоском пространстве-времени. В отличие от предыдущих работ, посвященных этой теме, были учтены взаимодействия полей в нижнем порядке теории возмущений. Сконструированы некоторые простые модели, включающие частицы со спинами 0 и 1/2 с равными массами и нетривиальными взаимодействиями . Проверено сокращение вакуумной энергии в модели Весса-Зумино на двухпетлевом уровне в формализмах компонентных полей с исключенными и не исключенными вспомогательными полями. В обоих случаях вакуумная энергия равна нулю.

Публикации – 8, доклады на конференциях – 12.

**Проект 45. Теоретические исследования космологических аспектов физики части.** Руководитель проекта И.И. Ткачев.Число участников проекта - 5**,** число участников проекта до 35 лет - 3, число аспирантов и студентов участников проекта - 1.

Предложен новый механизм образования Бозе-звезд из газа легких частиц темной материи за счет универсального гравитационного взаимодействия. Явление изучено в масштабном численном моделировании и показано, что конденсация происходит в кинетическом режиме. Построено аналитическое описание процесса, позволяющее определить время конденсации параметрически. Найдено, что в популярных моделях темной материи состоящей из аксионов КХД или из струнных аксионов, Бозе-звезды формируются за время, меньшее времени жизни Вселенной, что приводит к ряду потенциально наблюдаемых следствий.

Публикации – 4, доклады на конференциях – 1.

**Проект 46. Радиотерапия. Руководитель проекта: С.В.Акулиничев**

Число участников проекта: 14 Число участников проекта до 35 лет: 8. Число аспирантов и студентов участников проекта: 6.

1.Разработан новый метод быстрого автоматизированного расчета методами Монте-Карло оптимальной конструкции модуляторов энергии (гребенчатых фильтров) был доработан и использован для практического изготовления оборудования в протонной терапии.

2. С использованием новых методов расчета формирующих устройств были подготовлены и успешно проведены сеансы работы уникальной протонной лучевой установки ИЯИ РАН с энергией протонов 160 и 209 МэВ. Проведенные эксперименты показали хорошее согласие расчетов и экспериментальных данных для дозовых распределений в среде. В этих экспериментах были использованы водные и твердотельные фантомы человека.

3.Была предложена и рассчитана методами Монте-Карло новая конструкция комбинированного модулятора энергии (гребенчатого фильтра) для повышения конформности и качества протонной лучевой терапии. В этой конструкции впервые предложено использовать комбинацию различных материалов.

Публикации – 2, доклады на конференциях - 4, защищена 1 кандидатская диссертация.

**Проект 47. Название проекта: Развитие ядерных технологий на протонных пучках Московской мезонной фабрики.Руководитель проекта: А. В. Фещенко.**Число участников проекта: 72.Число участников проекта до 35 лет: 5.Число аспирантов и студентов участников проекта: 4

На сильноточном линейном ускорителе ИЯИ РАН   достигнута энергия 267 МэВ, и обеспечена успешная работа ускорителя. Последние пятнадцать лет, как по техническим, так и экономическим причинам сильноточный линейный ускоритель ИЯИ РАН   работал с максимальной энергией до 209 МэВ. В 2018 году в результате проведенного комплекса работ по модернизации и совершенствованию систем ускорителя энергия была увеличена до 267 МэВ. Всего в 2018 году проведено четыре сеанса, направленных на выполнение государственного задания, программ РАН, планов и научной программы Института, соглашений со сторонними организациями. Обеспечено проведение как фундаментальных, так и прикладных исследований. Общая продолжительность сеансов в 2018 году составила 1016 часов. Обеспечена работа ускорителя на комплекс по наработке радиоизотопов, установки экспериментального комплекса РАДЭКС, ИН-06 и КПТ, а также на разработанный и созданный экспериментальный стенд для исследования воздействия ускоренного пучка на узлы радиоэлектронной аппаратуры. Работы проводились с энергиями от 49 МэВ до 267 МэВ при интенсивности пучка от единичных импульсов с числом частиц 107 в импульсе на экспериментальный стенд до десятков микроампер среднего тока на установки РАДЭКС и ИН-06. Обеспечение работы ускорителя стало возможным благодаря постоянно проводимому техническому обслуживанию и модернизации оборудования ускорителя и каналов экспериментального комплекса

Публикации – 5, доклады на конференциях – 8.

**Проект 48. Разработка методики и исследование транспортировки сильноточных пучков протонов и отрицательных ионов водорода в экспериментальном комплексе ИЯИ РАН. Руководитель проекта: А. В. Фещенко.** Число участников проекта: 32**.** Число участников проекта до 35 лет: 4**.** Число аспирантов и студентов участников проекта: 4

В 2018 году обеспечена транспортировка и подача пучка в трех сеансах на следующие установки: РАДЭКС, импульсный нейтронный источник ИН-06 и комплекс протонной терапии. Впервые за последние пятнадцать лет на установки РАДЭКС и ИН-06 транспортировался пучок с энергией 267 МэВ. Интенсивность пучка составляла от десятков наноампер на КПТ до десятков микроампер на РАДЭКС и ИН-06. Выполнены работы по модернизации основных систем экспериментального комплекса: вакуумной системы, системы диагностики пучка, системы измерения потерь пучка, системы питания электромагнитных элементов, системы контроля и управления, системы радиационного контроля. На рисунке 1 приведены профили пучка с энергией 267 МэВ на входе в экспериментальный комплекс и на входе нейтронного источника ИН-06.

Доклады не конференциях - 3

**Проект 49. Медицинские изотопы. Руководитель Жуйков Б.Л.**

Число участников проекта - 10. Число участников проекта до 35 лет - 3**.** Число аспирантов и студентов участников проекта – 1.

Изучена возможность получения медицинского изотопа стронций-82 на ускорителе ИЯИ РАН и ее переработка на предприятии Zevacor Molecular в Индиане, США. Для этого разработана новая конструкция рубидиевой мишени с оболочкой из сплава инконель и новым зарядным фитингом.

Параллельно исследована и подтверждена возможность переработки рубидиевой мишени, облученной на ускорителе ИЯИ РАН, в Радиевом институте им. А.Г. Хлопина для обеспечения российских, а в дальнейшем – и зарубежных потребностей в выделенном стронции-82. Это позволит обеспечить эффективную регулярную кардиодиагностику с помощью позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ0 в России. Разработано Техническое задание для изготовления нового российского контейнера для перевозки как рубидиевой, так и ториевой мишеней (содержащей актиний-225), и с возможностью как вертикальной, так и горизонтальной загрузкой-выгрузкой, что необходимо для перевозки мишеней в Радиевый институт или в Zevacor.

Публикации - 3, доклады на конференциях - 10.

**Проект 51.** **Приборы для нейтронного комплекса ИЯИ** Руководители Э.А.Коптелов, Р.А.Садыгов.

Число участников проекта - 6. Число участников проекта до 35 лет - 2**.** Число аспирантов и студентов участников проекта – 1.

В 2018 г. на нейтронном рефлектометре «ГОРИЗОНТ», размещенном на источнике нейтронов ИН-06 в ЦКП ИЯИ РАН были проведены измерения коэффициента отражения нейтронов от переданного импульса на зеркальных образцах. Зеркальные образцы изготовлены на новом оборудовании, поэтому ~~и~~ необходимо иметь нейтронные результаты, показывающие качество, изготовленных прецизионных многослойных наноструктурированных покрытий. Также было проведено измерение коэффициента отражения нейтронов многослойной структурой, содержащей 25 пар слоев *Ni/Ti*. Измерения были выполнены на нейтронном рефлектометре «ГОРИЗОНТ» по методу времени пролета. Калибровка по длине волны, отнесенной к углу падения нейтронного пучка на образец, λ/θ была проведена по эталонному образцу суперзеркала с *m* = 2.

Публикации – 2, доклады на конференциях – 3.

**Проект 52. Нейтронные исследования гидридов высокого давления.** Руководитель проекта В.Е.Антонов ИФТТ РАН**.** Число участников подпроекта: 7**.** Число участников подпроекта до 35 лет: 4**.** Число аспирантов и студентов участников подпроекта: 3

Проведено гидрирование аморфных силикатов магния MgySiO2+y и фаялита Fe2SiO4 при давлении водорода 7.5 ГПа с последующей закалкой образцов до температуры жидкого азота и изучением их фазового и химического состава, а также структуры и динамики решетки при нормальном давлении. Показано, что растворы MgySiO2+y-XH2 делятся на две группы, отличающиеся по своему строению, количеству X растворенных молекул водорода (см. рисунок) и их колебательным характеристикам. Структура соединений с y ≤ 0.32 аналогична структуре кварцевого стекла, тогда как структуры соединений с y ≥ 0.49 характерны для энстатитового стекла MgSiO3.

Публикации – 1, доклады на конференциях – 7, защищена 1 магистерская работа.

**Проект 53. Новый сектор детектора на основе твердотельных сцинтилляторов для дифрактометра высокого разрешения.** Руководитель проекта: Кузнецов С.П. НФО ФИАН. Число участников проекта - 6.Число участников проекта до 35 лет -1.

Создан и установлен на пучке дифрактометра высокого разрешения источника нейтронов ИН -06 ИЯИ РАН кольцевой детектор на основе твердотельных сцинтилляторов нового типа. Сцинтилляционные детекторы были расположены по кольцу в плоскости образца перпендикулярно оси пучка. Такое расположение детекторов позволило одновременно получать дифрактограммы с разных детекторов при одном и том же переданном импульсе, что значительно ускорило процесс обработки результатов. Проведены испытания кольцевого детектора во время сеанса работы источника. Получена дифрактограмма тестового образца порошка искусственных алмазов (карбонадо).

Публикации – 1.

**Проект 54. Изучение ядерно-физическими методами магнитных свойств метастабильной фазы высокого давления германидов переходных металлов и РЗМ.** Руководитель А.В. Цвященко.Число участников проекта - 3.Число участников проекта до 35 лет -1, число аспирантов и студентов – 1.

Были изучены электрические, магнитные и электронные свойства кубической фазы высокого давления состава DyGe2.85. Были измерены магнитная восприимчивость, температурная зависимость электрического сопротивления до давлений 3.1 ГПа. Измерены параметры сверхтонких квадрупольных и магнитных взаимодействий методом возмущенных угловых гамма-гамма корреляций и дифракция нейтронов. Было обнаружено, что в этой метастабильной фазе наблюдается два фазовых перехода. Первый переход при Т(CDW) = 80 К был связан с образованием волны зарядовой плотности (ВЗП). Второй переход при Т(N) = 18 К является антиферромагнитным с образованием несоизмеримой антиферромагнитной спирали магнитных моментов ионов Dy. Впервые проведено изучение валентности ионов иттербия методом возмущенных угловых корреляций до 19 ГПа с использованием алмазной ячейки.Впервые было обнаружено двухступенчатое изменение валентности ионов Yb в метастабильном соединении YbAg2 со структурой гексагональной фазы Лавеса от 2.8 до 3.

Публикации – 3, защищена 1 кандидатская диссертация.

**Проект 55. Разработка и создание компактных детекторов ядерных излучений для учебно-исследовательских работ в школах и учебных институтах.** Руководитель О.В.Минеев. Число участников проекта - 9, количество участников до 35 лет –4, студентов и аспирантов – 4.

Разработан и собран прототип сегментированного детектора из 9 тысяч кубиков с 3D-геометрией считывания световыхода с помощью спектросмещающих волокон. В ходе выполнения сборки отрабатывалась технология собирания кубиков в конструкцию с точным и заранее заданным расположением каждого кубика внутри сборки. Этот прототип прошел тестовые измерения на пучке в ЦЕРНе с целью определения возможностей реального детектора нейтрино в эксперименте T2K для восстановления треков и идентификации различного типа элементарных частиц в магнитном поле. Обработка результатов и анализ данных продолжается. В создании и тестировании детектора прияняли участие школьники и студенты МИФИ и МФТИ.

Публикации -1, доклады на конференциях -4.

**Проект 56. Исследования по физике фотоядерных взаимодействий (изучение ненуклонных степеней свободы).** Руководитель В.Г.Недорезов. Число участников проекта - 18, количество участников до 35 лет –4, студентов и аспирантов – 3.

На ускорителе МАМИ (Германия) в рамках коллаборации А2 проведено измерение вероятности распада эта-мезона на 3 пи-мезона, запрещённого изоспиновой симметрией и возникающего вследствие разности масс верхнего и нижнего кварков . Этот результат в сравнении с теоретическими расчетами показан на рисунке. Он получен с лучшей на сегодняшний день статистической точностью и служит чувствительным тестом для величины изоспинового нарушения в квантовой хромодинамике.

Публикации -17, доклады на конференциях -3, защищена 1 магистерская работа.

**Проект 57. Исследование нуклон-нуклонных взаимодействий на нейтронном комплексе ИЯИ РАН.** РуководительЕ.С.Конобеевский. Число участников проекта - 8, количество участников до 35 лет – 3, студентов и аспирантов – 1.

В 2018 г. проведена подготовка и проведен эксперимент на нейтронном канале РАДЭКС при энергии нейтронов до 200 МэВ. В эксперименте была использована активная дейтериевая мишень (с регистрацией протона в реакции *nd*-*pnn)* и два детектора вторичных нейтронов. Проведенное предварительное моделирование позволило определить оптимальные параметры установки (диапазоны энергии и углы регистрации) для получения данных о длине рассеяния при энергиях первичных нейтронов 40-80 МэВ. Разработанная в рамках проекта программа позволяет по энергиям, импульсам и углам вылета двух вторичных нейтронов восстанавливать энергию первичного нейтрона, вызывающего реакцию развала дейтрона. Выполнена подготовительная работа для проведения эксперимента, в том числе, отобраны и прокалиброваны кремниевые детекторы для регистрации протонов с соответствующей условиям моделирования толщиной и детектор для регистрации нейтронов на основе жидкого сцинтиллятора. Проведены тестовые измерения системы сбора и обработки информации на основе цифровых сигнальных процессоров DPP 5720 и DPP 5742, получены с амплитудные и временные спектры с детекторов . В декабре 2018 г. получены предварительные экспериментальные данные для реакции dp→ppn при энергии первичных дейтронов 15 МэВ на циклотроне У-120 НИИЯФ МГУ. В настоящее время ведется обработка полученных данных.

Публикации -3, доклады на конференциях - 4.

**Проект 58. Поиск редких мюонных процессов в эксперименте «Mu2e». Руководитель Р.М.Джилкибаев.** Число участников проекта - 8.

В 2018 г. проведены работы по исследованию и моделированию формы сигналов с газовых He3 счетчиков при регистрации нейтронов с использованием электроники разработанной и изготовленной в 2017. Разработка и изготовление 16-канальной системы TDC (time-digital converter) с интерфейсом USB2. Создание системы анализа и сбора цифровых и аналоговых данных на компьютере. Проведены работы по исследованию и моделированию формы сигналов с газовых He3 счетчиков при регистрации нейтронов с использованием электроники разработанной и изготовленной в 2017. Создана программа для моделирования формы сигналов с Не3 детекторов, результаты моделирования хорошо согласуется с экспериментом.

**Проект 59. Эксперимент ОКА.** Руководитель Ю.Г.Куденко. Число участников проекта - 8, количество участников до 35 лет – 2, студентов и аспирантов – 1.

В эксперименте ОКА было получено новой ограничение на параметры смешивания активных (мюонных) нейтрино и гипотетических массивных нейтрино с массами в диапазоне 220-380 МэВ. Было проанализировано около 1.7х1010 распадов каонов с импульсом около 17 ГэВ/с. В диапазоне масс 300-380 МэВ этот результат представляет наиболее сильное ограничение на параметры смешивания активных и массивных нейтрино.

Публикации -3, доклады на конференциях - 2.

**Заключение.**

Работы по проектам Программы будут продолжены в 2019 году в рамках Программы фундаментальных исследований РАН №3 с новым названием

«Физика адронов, лептонов, бозона Хигса и частиц тёмной материи» с координатором Программы ак. В.А.Рубаковым в соответствии с Распоряжением РАН от 26.12.2018 №10115-1388.