

Федеральное агентство научных организаций
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН)

УТВЕРЖДАЮ
директор член-корр. РАН

Л.В.Кравчук
22 января 2018

УДК 539.1, 539.12, 539.14, 539.17, 539.123, 539.125

№ государственной регистрации АААА-А16-116022510113-1

Инв.№

ОТЧЁТ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ
Физика элементарных частиц и фундаментальная ядерная физика
(промежуточный за 2017 год)

Научный руководитель темы
заместитель директора по научной работе д.ф.-м.н.

Либанов М.В.
22 января 2018

Москва 2018

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы

д.ф.-м.н.Либанов М.В. (введение, заключение)
22 января 2018

Исполнители:

д.ф.-м.н. Куденко Ю.Г. (раздел 1)
22 января 2018

РЕФЕРАТ

Отчёт содержит: 30 с., 9 рис.

Ключевые слова:

КВАНТОВАЯ ХРОМОДИНАМИКА, РЕДКИЕ МЮОННЫЕ ПРОЦЕССЫ, ФОТОЯДЕРНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ, МАЛОНУКЛОННЫЕ СИСТЕМЫ, НЕЙТРИННЫЕ ОСЦИЛЛЯЦИИ, НАРУШЕНИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ СИММЕТРИЙ, СЦИНТИЛЛЯТОР, ФОТОУМНОЖИТЕЛЬ, ЛАВИННЫЙ ФОТОДИОД, МАЛОУГЛОВОЕ РАССЕЯНИЕ

В отчёте представлены результаты фундаментальных и прикладных работ, проведённых по государственному заданию в соответствии с планом научных исследований ИЯИ РАН на 2017 год в рамках целевой программы фундаментальных исследований Отделения физических наук РАН «Физика элементарных частиц, фундаментальная ядерная физика и ядерные технологии».

Рассматривались проекты: Физика элементарных частиц, в том числе, теоретическое исследование физики за пределами Стандартной Модели; теоретические исследования космологических аспектов физики частиц; исследование распадов заряженных К-мезонов (эксперименты ИСТРА, ОКА); исследование редких распадов К-мезонов, изучение эффектов CP и T нарушения (эксперименты E246, E949, БНЛ, E36, КЕК, JPARC); проверка фундаментальных законов сохранения лептонных чисел в процессе μ -е конверсии на ядрах (Эксперимент МЕСО); научно-образовательный проект по теоретической и экспериментальной физике элементарных частиц. Исследования по релятивистской ядерной физике. Поиск сверхузких дибарионных резонансов на Московской мезонной фабрике. Исследования по физике фотоядерных взаимодействий (изучение ненуклонных степеней свободы атомных ядер). Проект РАДЭКС. Спектрометрия по времени замедления нейтронов в свинце. Проблемы физики трансмутации ядерных материалов и технология подкритических систем на пучках заряженных частиц. Развитие новых методов регистрации нейтронов. Разработка время-пролетных спектрометров неупругого рассеяния нейтронов на нейтронном комплексе ИЯИ РАН. Создание и приборное оснащение нейтронного комплекса ИЯИ РАН. Развитие ядерных технологий на протонных пучках Московской мезонной фабрики. Радиотерапия. Разработка технологии получения медицинских изотопов на высокоточных протонных пучках. Разработка ускорительного проекта НИКА и подготовка экспериментов. Разработка и создание компактных детекторов ядерных излучений для учебно-исследовательских работ в школах и учебных институтах. Информационное обеспечение Программы.

По всем проектам получены результаты мирового уровня.

СОДЕРЖАНИЕ

	Ст
	р.
Реферат	3
Введение	6
1 Физика элементарных частиц. Основные результаты	7
1.1 Теоретическое исследование физики за пределами Стандартной Модели	7
1.2 Теоретические исследования космологических аспектов физики частиц	8
1.3 Исследование распадов заряженных К-мезонов (эксперименты ИСТРА, ОКА)	9
1.4 Исследование редких распадов К-мезонов, изучение эффектов CP и T нарушения (Эксперименты E246, E949, БНЛ, E36, KEK, JPARC)	10
1.5 Проверка фундаментальных законов сохранения лептонных чисел в процессе μ -е конверсии на ядрах (Эксперимент МЕСО)	11
1.6 Научно-образовательный проект по теоретической и экспериментальной физике элементарных частиц	12
1.7 Исследования по релятивистской ядерной физике	13
1.8 Поиск сверхузких дибарионных резонансов на Московской мезонной фабрике	14
1.9 Исследования по физике фотоядерных взаимодействий (изучение ненуклонных степеней свободы атомных ядер)	15
1.10 Проект РАДЭКС	16
1.11 Спектрометрия по времени замедления нейтронов в свинце	17
1.12 Проблемы физики трансмутации ядерных материалов и технология подкритических систем на пучках заряженных частиц	18
1.13 Развитие новых методов регистрации нейтронов	19
1.14 Разработка время-пролетных спектрометров неупругого рассеяния нейтронов на нейтронном комплексе ИЯИ РАН	20
1.15 Создание и приборное оснащение нейтронного комплекса ИЯИ РАН	21
1.16 Развитие ядерных технологий на протонных пучках Московской мезонной фабрики	22
1.17 Радиотерапия	24

1.18 Разработка технологии получения медицинских изотопов на сильноточных протонных пучках	25
1.19 Разработка методики и исследование транспортировки сильноточных пучков протонов и отрицательных ионов водорода в экспериментальном комплексе ИЯИ РАН.	26
1.20 Разработка ускорительного проекта НИКА и подготовка экспериментов	27
1.21 Разработка и создание компактных детекторов ядерных излучений для учебно-исследовательских работ в школах и учебных институтах	28
1.22 Информационное обеспечение Программы	29
Заключение	30

ВВЕДЕНИЕ

В отчёте представлены результаты фундаментальных и прикладных работ, проведённых по государственному заданию в соответствии с планом научных исследований ИЯИ РАН на 2017 год.

Исследования фундаментальных свойств материи, включая теоретические работы по квантовой теории поля, физике частиц и их связи с космологией, экспериментальные исследования нарушения фундаментальных симметрий и изучение природы CP-нарушения, изучение физических процессов при столкновении тяжелых ионов высоких энергий, поиск новых явлений вне рамок Стандартной модели физики частиц и разработка новых ядерных технологий, составляют основное содержание Программы. Программа «Физика элементарных частиц, фундаментальная ядерная физика и ядерные технологии» состоит из пяти направлений, объединяющих конкретные проекты. Большинство работ выполняется в российских научных центрах, при этом в Программу включены также эксперименты, идея которых принадлежит российским ученым, установки создаются в российских институтах, а сами эксперименты одобрены программными комитетами соответствующих зарубежных лабораторий и Учеными советами российских институтов и проводятся в зарубежных научных центрах.

Составляющие Программу проекты отвечают мировому уровню исследований в этой области. Успешная реализация этих проектов позволяет сохранить высокий авторитет и уровень исследований в области физики элементарных частиц и ядерной физики в России. Выполнение этих проектов также позволяет проводить подготовку научных кадров как в институтах РАН, так и в крупнейших учебных центрах России: МГУ, СПбГУ, НГУ, МФТИ, МИФИ и др.

Современные исследования в области элементарных частиц и ядерной физики как правило ведутся большими коллективами при активном международном сотрудничестве, поэтому многие сотрудники институтов РАН внесли существенный вклад в создание крупных установок во многих зарубежных лабораториях и являются активными участниками проводимых экспериментов. Активно развивается сотрудничество с ФНАЛ и БНЛ (США), ДЕЗИ, GSI и MAMI (Германия), KEK и JPARC (Япония), PSI (Швейцария) и другими зарубежными научными центрами.

1 ФИЗИКА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКИ ЗА ПРЕДЕЛАМИ СТАНДАРТНОЙ МОДЕЛИ.

Научный руководитель: Н.В.Красников.

Продолжены исследования по возможному проявлению легкой темной материи в экспериментах на коллайдерах. Для модели с векторным переносчиком взаимодействия между обычной материей и темной материей были произведены точные древесные вычисления рождения темного фотона в электрон-ядерных столкновениях с учетом полной симуляции детектора для эксперимента NA64 в ЦЕРНе. Показано, что в зависимости от массы темного фотона и энергии сталкивающихся электронов возникают существенные отличия от дифференциального сечения, вычисленного в приближении эквивалентных фотонов. Проанализированы данные эксперимента NA64 и на их основе получены рекордные ограничения на константу связи темного фотона с электроном. Показано, что модель с легким изосинглетным скаляром и несколькими хиггсовскими изодублетами способна объяснить не только мюонную ($g-2$) аномалию, но и правильно предсказать наблюдаемую на эксперименте плотность темной материи.

Детально изучены эффекты, связанные с ядерными поправками в дейтерии на основе анализа данных глубоко-неупругого лептон-ядерного взаимодействия, процесса Дрелла-Яна в pp и pD столкновениях, а также W и Z рождений в протонных столкновениях. Показано, что микроскопическая модель ядерных партонных распределений удовлетворительно описывает лептон-ядерное глубоконеупругое рассеяние, протон-ядерный процесс Дрелла-Яна, а также рождение W и Z бозонов в столкновениях протона и ядер свинца на Большом адронном коллайдере.

Построена новая схема перенормировок в суперсимметричном расширении КХД на основе использования регуляризации Славнова с высшими производными.

1.2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОСМОЛОГИЧЕСКИХ АСПЕКТОВ ФИЗИКИ ЧАСТИЦ

Научный руководитель: академик И.И.Ткачев

Исследовано образование плотных пиков темной материи вокруг первичных черных дыр на космологической стадии радиационного доминирования. Плотность получающихся по этому механизму пиков значительно больше, чем у гало темной материи, которые формируются позже по механизму вторичной аккреции. Если частицы темной материи способны аннигилировать, то пики плотности должны являться яркими источниками гамма-излучения. Сравнение рассчитанного аннигиляционного сигнала с данными Fermi-LAT по диффузному гамма-фону ограничивает сверху современный космологический параметр плотности черных дыр, см. Рис 1. В определенном диапазоне масс полученные ограничения сильнее других известных ограничений.

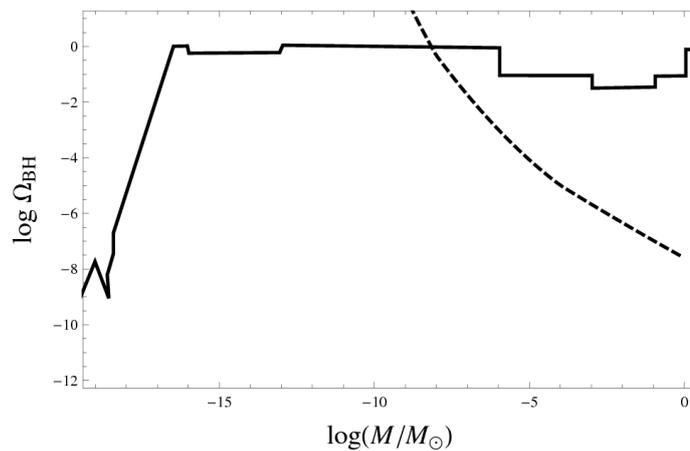


Рис. 1. Ограничения сверху на космологический параметр плотности первичных черных дыр. Сплошная кривая показывает ранее известные ограничения, а штрихованная кривая показывает новое ограничение на основе эффекта аннигиляции частиц темной материи.

1.3 ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПАДОВ ЗАРЯЖЕННЫХ К-МЕЗОНОВ

(ЭКСПЕРИМЕНТЫ ИСТРА, ОКА) ИЯИ РАН

Руководители: д.ф.м.н. Ю.Г.Куденко и чл.-корр. В.Ф. Образцов.

В эксперименте ОКА получен новый результат по поиску тяжелых нейтрино в распаде $K^+ \rightarrow \mu^+ \nu_H$ (рис.2). Было установлено новое верхнее ограничение (90% C.L.) на элемент матрицы смешивания $|U_{\mu H}|^2$ в диапазоне масс тяжелых нейтрино 175 — 300 МэВ. Получены первые результаты по исследованию редких распадов заряженных каонов и исследования формфакторов в радиационных и полулептонных распадах.

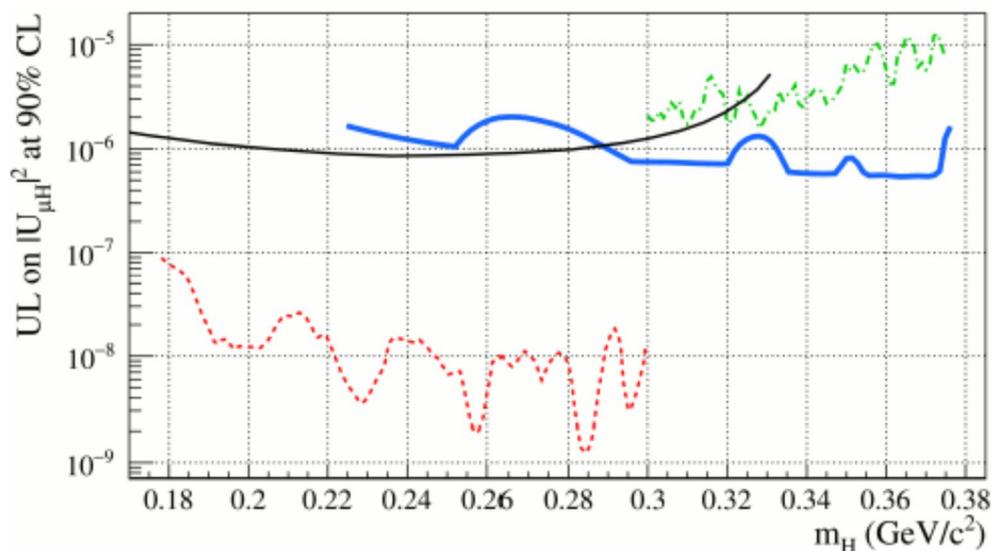


Рис.2. Ограничение на параметр смешивания активных и стерильных нейтрино.

1.4 ИССЛЕДОВАНИЕ РЕДКИХ РАСПАДОВ К-МЕЗОНОВ, ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТОВ СР И Т НАРУШЕНИЯ (ЭКСПЕРИМЕНТЫ E246, E949, БНЛ, E36, КЕК, JPARC)

Отдел физики высоких энергий ИЯИ.

Рук. Проекта Ю.Г. Куденко

Было получено ограничение на вероятность распада $Br(K^{*+} \rightarrow \mu^{+} + X) < 5.7 \times 10^{-7}$ в интервале импульсов мюонов 130-175 МэВ/с, из которого затем получено ограничение на вероятность распада $K \rightarrow \mu \nu$: $Br(K \rightarrow \mu \nu) < 2.4 \times 10^{-7}$ (Стандартная Модель); $Br(K \rightarrow \mu \nu) < 2.4 \times 10^{-7}$ (ν - ν взаимодействие); $Br(K \rightarrow \mu \nu) < 2.7 \times 10^{-7}$ (6-ти фермионное взаимодействие). Верхний предел на вероятность распада положительного каона на мюон и 3 нейтрино в зависимости от импульса мюона показан на рисунке 3.

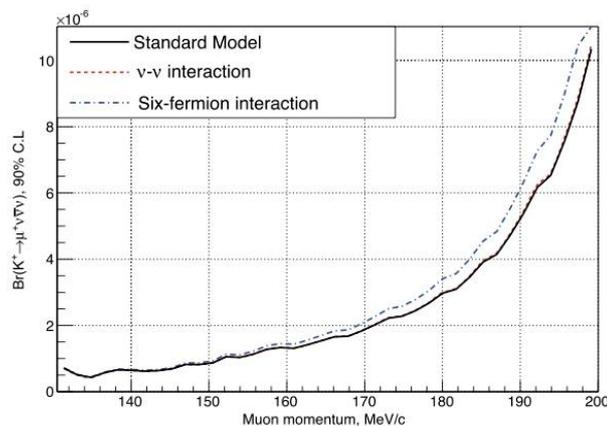


Рис.3. Верхний предел (90% CL) на вероятность распада $K^{+} \rightarrow \mu^{+} + 3\nu$ в зависимости от импульса мюона.

1.5 ПРОВЕРКА ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ЗАКОНОВ СОХРАНЕНИЯ ЛЕПТОННЫХ ЧИСЕЛ В ПРОЦЕССЕ μ -E КОНВЕРСИИ НА ЯДРАХ (ЭКСПЕРИМЕНТ МЕСО)

Научный руководитель д.ф.-м.н. Р.М. Джилкибаев.

В 2017 г. проводились работы по разработке и изготовлению электроники с низким уровнем шумов, предназначенной для работы с различными детекторами в условиях высокого уровня электрических помех. В качестве детекторов рассматриваются: лавинные фотодиоды (APD), фото-электронные умножители (ФЭУ) и нейтронные газовые He3 счетчики.

1.6 НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ПРОЕКТ ПО ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКЕ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ
ОТФ, ОФВЭ ИЯИ РАН

Руководители Рубаков В.А., Куденко Ю.Г.

Поддержка участия студентов и аспирантов в международных конференции, школах и рабочих совещаниях, проведенных в ЦЕРН, Японии, Китае, США, Польше, Англии, Норвегии, Индии. Поддержка участия молодых ученых, аспирантов и студентов в научной работе в международных коллаборациях. Разработка курсов для обучения студентов и аспирантов в ведущих вузах России и аспирантуре РАН. Поддержка лекторов на школах для школьников, студентов и аспирантов. Закупка оборудования для научной работы с участием студентов и аспирантов.

1.7 ИССЛЕДОВАНИЯ ПО РЕЛЯТИВИСТСКОЙ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКЕ

Институт ядерных исследований РАН, лаборатория релятивистской ядерной физики
Отдела экспериментальной физики, руководитель проекта А.Б. Курепин. 14 научных
сотрудников, 4 молодых сотрудников.

В 2017г. проведена сборка, тестирование и монтаж модулей для 3х секторов нового
электромагнитного калориметра (ECAL) установки ХАДЕС (Рис. 4).

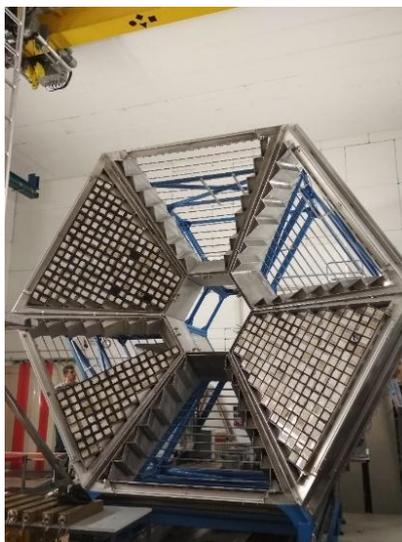


Рис.4. Статус сборки ECAL на установке ХАДЕС (состояние на конец декабря 2017г).

Электромагнитный калориметр с четырьмя (из 6) полностью собранными секторами (по 163 модуля в каждом секторе) будет использоваться в эксперименте Ag+Ag на действующем ускорителе SIS18 в GSI уже в 2018 г. С помощью ECAL предполагается выполнить прецизионные измерения сечений рождения π^0 and η -мезонов и существенно повысить эффективность разделения пионов и электронов при значениях импульса частиц $p > 400$ МэВ/с. В 2019 г. году планируется завершить полную сборку калориметра. Завершены работы по модернизации переднего 288-канальногсцинтилляционного годоскопа (Forward Wall) (замена фотоумножителей, реконструкция механической платформы). Этот годоскоп планируется использовать в эксперименте Ag+Ag при энергии налетающих ядер серебра 1.65 АГэВ на ускорителе SIS18 в 2018 году для определения центральности и угла плоскости реакции в Ag+Ag столкновениях.

В 2017 г. в рамках мегапроекта НИКА продолжалось сотрудничество ИЯИ РАН

– ОИЯИ по разработке переднего адронного калориметра фрагментов для установки MPD/NICA. Подготовлен технический проект калориметра, состоящего из 90 индивидуальных модулей. В 2017 г. в ИЯИ РАН была изготовлена первая партия модулей переднего адронного калориметра.

1.8 ПОИСК СВЕРХУЗКИХ ДИБАРИОННЫХ РЕЗОНАНСОВ НА МОСКОВСКОЙ МЕЗОННОЙ ФАБРИКЕ ИЯИ РАН (ПРОЕКТ ДИБАРИОН)

ИЯИ, Лаборатория атомного ядра.

Руководитель проекта - Е.С. Конобеевский.

Были проанализированы [все данные о нейтрон-нейтронной длине рассеяния, полученные с 1999 г. в реакциях nd и dd -развала (в том числе и данные полученные участниками проекта)]. Показано, что анализируемые данные можно аппроксимировать плавной кривой зависимости длины рассеяния от параметра R , определяющего расстояние разлета фрагментов за фиксированное время. Для различных экспериментов параметр R может значительно отличаться. Используя этот R -критерий, мы построили график зависимости значений a_{nn} , полученные из экспериментов по nd и dd -развалу, от параметра R (рис. 5). Видно, что экспериментальные точки, в основном, расположены в соответствии с относительным расстоянием R , и могут быть описаны гладкой кривой, зависящей от R .

Для аппроксимации экспериментальных a_{nn} была использована экспоненциальная функция (1) (см. рис. 1)

$$a_{nn}(R) = a + b \exp(-R/r_0), \quad (1)$$

при этом значения ее параметров a , b и r_0 определялись из минимума χ^2 . Параметр a определяет асимптотическое значение a_{nn} , полученное экстраполяцией этой кривой при $R \rightarrow \infty$, и должен быть свободным от вклада $3N$ -сил. Для использованных экспериментальных данных получено значение параметра $a \equiv a_{nn}(\infty) = -15.8 \pm 0.2$ Фм.

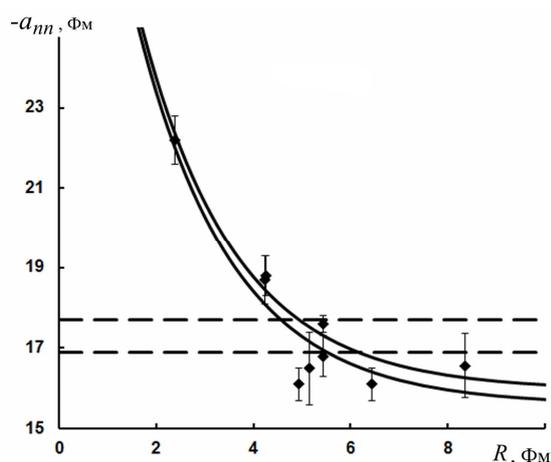


Рис.5 – Зависимость значений a_{nn} от параметра R . Пунктирные линии соответствуют предельным значениям $a_{pp} = -17.3 \pm 0.4$ Фм, сплошные – аппроксимация экспериментальных точек зависимостью (4) при максимальном и минимальном значениях параметра a : $-15.8 + 0.2$ и $-15.8 - 0.2$, где 0.2 – ошибка в определении этого параметра.

1.9 ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ФИЗИКЕ ФОТОЯДЕРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ (ИЗУЧЕНИЕ НЕНУКЛОННЫХ СТЕПЕНЕЙ СВОБОДЫ АТОМНЫХ ЯДЕР)

ИЯИ РАН, ИТЭФ, РНЦ КИ, НИИЯФ МГУ, ИЯИ РАН, НИИЯФ МГУ, НИИАР,
ВНИИЭФ, ХФТИ.

Рук. д.ф.-м.н. Недорезов В.Г.

На пучке энергетически меченых фотонов ускорителя МAMI коллаборацией A2 выполнены исследования реакций $\gamma p \rightarrow \eta p$ и $\gamma p \rightarrow \eta' p$ от порога до энергии в системе центра масс $W = 1.96$ ГэВ [1]. Дифференциальные сечения этих реакций впервые измерены в полном угловом диапазоне с рекордной статистической точностью и с лучшим в мире энергетическим разрешением. В полном сечении фоторождения η -мезона (рис. 4) обнаружен резкий излом при энергиях вблизи порога рождения η' -мезона $W = 1896$ МэВ ($E_\gamma = 1447$ МэВ). В рамках развитой новой изобарной модели η MAID2017 этот излом в сочетании с крутым нарастанием полного сечения фоторождения η' -мезона от его порога (рис. 6 и 7) однозначно объясняется вкладом предсказанного ранее нуклонного резонанса $N(1895)1/2^-$. Полученные новые прецизионные данные позволили впервые в мире определить свойства этого резонанса.

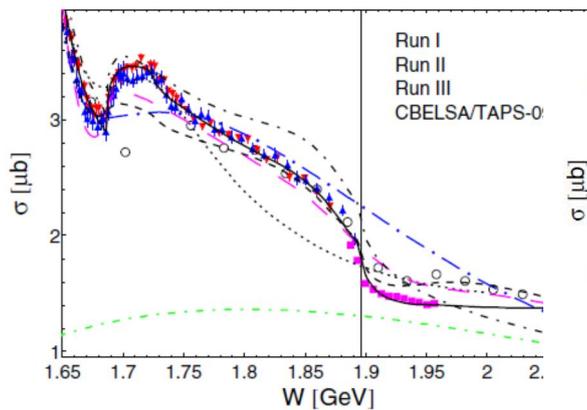


Рис. 6

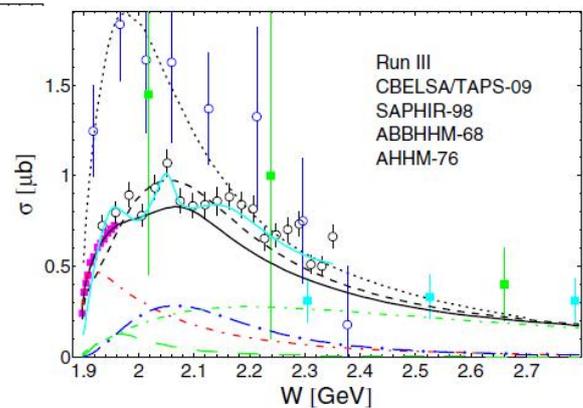


Рис. 7

1.10 ПРОЕКТ РАДЭКС

. Отдел экспериментальной физики, лаборатория атомного ядра ИЯИ РАН, ГНЦ ФЭИ (Обнинск), ЛНФ ОИЯИ (Дубна); 16 человек, (дополнительно: 5 человек - ОИЯИ; 4 человека - ФЭИ) Рук. проекта- д.ф.-м.н. Ю.В. Рябов, моложе 35 лет – 3 человека

Основные результаты в 2017г:

Используя опыт работы на импульсном нейтронном источнике «РАДЭКС», в течение 2016 г. по Протоколу о сотрудничестве участвовали в пусковых и наладочных работах на сооружаемом импульсном нейтронном источнике ЛНФ ОИЯИ «ИРЕН-1» (г. Дубна). После задержки пусковых работ на «ИРЕН-1» при смене клистронов, было временно прекращено участие в пусковых работах этой установки. Полностью укомплектован 6-ти канальный ЖСД общим объемом 250л сц.жидкости ЖС-20. Что позволит эту регистрирующую систему использовать в первых сеансах на установке «РАДЭКС». Проведены испытания прозрачности ЖС при различной концентрации вводимого химического соединения гадолия на экспериментальном объеме 2л. В результате удалось достигнуть времени жизни быстрых нейтронов в растворе ЖС около 5-6 мкс.

В настоящее время проводится испытание долговременной стабильности раствора ЖС при достигнутой концентрации гадолия. (Рук. Рябов Ю.)

1.11 СПЕКТРОМЕТРИЯ ПО ВРЕМЕНИ ЗАМЕДЛЕНИЯ НЕЙТРОНОВ В СВИНЦЕ

Лаборатория нейтронных исследований ИЯИ РАН, ЛНФ Дубна,

Рук д.ф.- м.н. Э.А.Коптелов.

Для измерений на СВЗ разработана многопроволочная пропорциональная камера регистрации осколков деления и α - частиц. Подготовлена к экспериментальным измерениям система регистрации и обработки данных. Для завершения работы необходимо иметь слои ^{235}U и ^{239}Pu . Предполагается в дальнейшем использовать возможности экспериментальной поверки в ОИЯИ детектирующей аппаратуры, предназначенной для работы во время сеансов на СВЗ. Ведется Разработка методики по определению времени задержки вылета нейтронов из замедлителя. Для отработки методики использовались экспериментальные возможности ОИЯИ.

1.12 ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ ТРАНСМУТАЦИИ ЯДЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ТЕХНОЛОГИЯ ПОДКРИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ПУЧКАХ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

Институт ядерных исследований (лаборатория нейтронных исследований, отдел экспериментальной физики) – 5 человек, МЮКАТЭКС (член-корр РАН Л.И. Пономарев).

Руководитель проекта – Коптелов Э.А.

Изучен и обоснован модифицированный вариант исследовательского ADS – стенда, адаптированного к существующей инфраструктуре экспериментального комплекса и реального тока протонов линейного ускорителя ИЯИ РАН (максимальная мощность при умножении $M = 50$ составляет ~ 5 МВт при энергии протонов 300 МэВ и среднем токе 250 мкА). Рассмотрены варианты blankets с жидко-солевыми вставками. Рассмотрены возможности увеличения среднего времени жизни мишени ADS – стенда за счет использования вращающихся мишеней.

1.13 РАЗВИТИЕ НОВЫХ МЕТОДОВ РЕГИСТРАЦИИ НЕЙТРОНОВ

Руководитель проекта к.-ф.м.н. Р.А.Садыков.

Проведена модернизация детекторной системы установки Геркулес (замена всех гелиевых счетчиков на сцинтилляционные. Данные счетчики были ранее протестированы (в том числе и на установке Геркулес), и показали свою эффективность сравнимую с гелиевыми, но при этом более дешевые и безопасные так как не требуют высокого напряжения(всего 32вольта по сравнению 1400-1600вольт для гелиевых счетчиков).Также к детекторной системе установки были добавлены два сектора дифрактометра, каждый из которых содержит 8 каналов сцинтилляционных счетчиков тепловых нейтронов размером 120 x15 мм.)

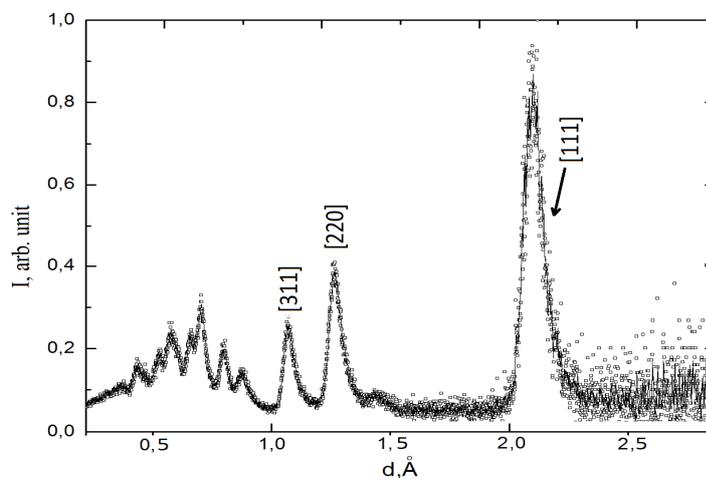


Рис.8. Дифрактограмма, снятая с сектора дифрактометра, расположенного под 90 градусов к исследуемому образцу технического алмаза.

1.14 РАЗРАБОТКА ВРЕМЯ-ПРОЛЕТНЫХ СПЕКТРОМЕТРОВ НЕУПРУГОГО РАССЕЯНИЯ НЕЙТРОНОВ НА НЕЙТРОННОМ КОМПЛЕКСЕ ИЯИ РАН

Руководители Проекта - Э.А. Коптелов, Е.С. Клементьев.

Участники Проекта ЛНИ, КОРЭ.

Были разработаны модели следующих основных узлов: нейтронного фильтра, детектирующих систем для спектрометров прямой и обратной геометрии. Геометрические параметры и состав узлов был оптимизирован при помощи Монте-Карло моделирования. Использовались нейтронные транспортные коды McStas и VITESS. Такое моделирование является в настоящее время обязательным этапом при разработке установок в ведущих нейтронных центрах, ни один новый прибор не создается без предварительной оптимизации параметров компонент.

Были оптимизированы геометрические параметры нейтронного фильтра на основе охлаждаемого до криогенных температур поликристаллического бериллия с порогом пропускания 4.9 meV. Была разработана новая методика разделения парциальных вкладов в спектр магнитных возбуждений;

Был определен магнитный вклад от f- и d-электронных подсистем в спектр возбуждений кобальтитов редкоземельных ионов, определен магнитный формфактор для данных соединений.

1.15 СОЗДАНИЕ И ПРИБОРНОЕ ОСНАЩЕНИЕ НЕЙТРОННОГО КОМПЛЕКСА ИЯИ РАН ЛНИ, ОУК, ОЭК, КОРЭ ИЯИ РАН.

Руководители Э.А.Коптелов, Р.А.Садыков.

Создан простой механизм перемещения двухкоординатного детектора установки «Горизонт» с ручным управлением. Проведено дооснащение Нейтронного рефлектометра-малоуглового спектрометра «Горизонт» двухкоординатным монитором и двухкоординатным детектором нейтронов. Проведены тестовые измерения. Получены профили и спектры прямого пучка. Изучена фоновая обстановка в экспериментальной зоне установки. На рис. 1а приведен времяпролетный спектр нейтронов падающего на образец пучка, измеренный с помощью двухкоординатного монитора. Также проведены контрольные измерения при мониторе, закрытом листовым кадмием, который поглощает нейтроны с энергией меньше 0.5 эВ (рис. 1 б). Из сравнения этих двух спектров следует, что в прямом пучке отсутствуют быстрые нейтроны, благодаря изогнутому зеркальному нейтронному волноводу. Получены спектры малоуглового рассеяния нейтронов (МУРН) на тестовых образцах. Были выбраны образцы сплава 40ХНЮ в виде 2-мм пластин до и после термообработки, вызывающей образование наночастиц и, как следствие, увеличение сечения МУРН. Падающий пучок формировался в виде квадрата сечением 5х5 мм с помощью автоматизированных коллимирующих устройств. Рассеянные нейтроны регистрировались с помощью двухкоординатного детектора. Полученные матрицы зависимости счета детектора от координаты и времени пролета проинтегрированы по-горизонтали и переведены в зависимости интенсивности от переданного импульса нейтрона, нормировка проводилась по интегральному флюенсу прямого пучка

1.16 РАЗВИТИЕ ЯДЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ПРОТОННЫХ ПУЧКАХ МОСКОВСКОЙ МЕЗОННОЙ ФАБРИКИ. РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ БЫСТРОГО ОТКЛОНЕНИЯ ПУЧКА НА МИШЕНИ РАДИОИЗОТОПНОГО КОМПЛЕКСА.

Отдел ускорительного комплекса ИЯИ РАН.

Руководитель Фещенко А.В.

На сильноточном линейном ускорителе ИЯИ РАН проведено четыре сеанса, направленных на выполнение государственного задания, программ РАН, планов и научной программы Института, а также выполнения обязательств перед сторонними организациями. Обеспечено проведение как фундаментальных, так и прикладных исследований в том числе направленных на развитие ядерных технологий для медицины, радиационного материаловедения и пр. Общая продолжительность сеансов в 2017 году составила 1680 часов. Нарботка ускорителя по программе получения радиоизотопов составила свыше 79000 мкА·часов при среднем токе пучка до 130 мкА и энергии 143 МэВ. На выходе ускорителя создан экспериментальный стенд для исследования воздействия пучков протонов на узлы радиоэлектронной аппаратуры. Обеспечена транспортировка и формирование на стенде пучков протонов с энергиями от 20 МэВ до 209 МэВ с интенсивностями от 10^7 частиц в одиночных импульсах до 1 мкА среднего тока.

Модернизирован генератор высоковольтных импульсов инжектора протонов. С целью замены использовавшихся тиратронов разработаны и изготовлены высоковольтные тиристорные ключи, а также соответствующие схемы запуска и управления. Проведены испытания генератора высоковольтных импульсов, продемонстрирована надежная работа разработанных и созданных сборок тиристорных ключей (рис. 9).

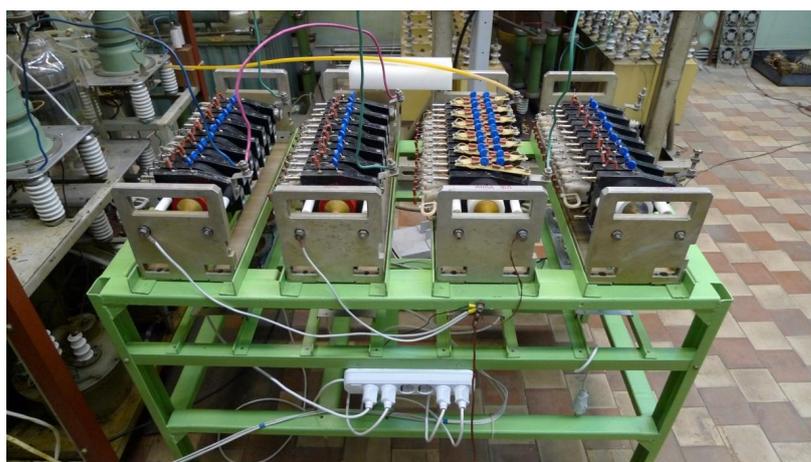


Рис. 9. Высоковольтные тиристорные сборки модулятора инжектора протонов.

Проведены исследования прецизионного емкостного делителя импульсного напряжения с амплитудой 400 кВ инжектора протонов. Обнаружена и устранена нестабильность, связанная со свойствами высоковольтного плеча делителя. Результаты исследований имеют значение для стабилизации энергии пучка протонов из инжектора и, следовательно, для обеспечения устойчивой работы всего ускорителя. Проведены исследования поведения эмиттанса пучка на выходе инжектора при различных условиях фокусировки на входе ускорительной трубки, что необходимо для проведения работ по изучению компенсации пространственного заряда пучка протонов с энергией 400 кэВ. Проведены исследования компенсации объемного заряда ионного пучка на выходе инжектора.

1.17 РАДИОТЕРАПИЯ

Лаборатория медицинской физики ИЯИ РАН.

Руководитель Акулиничев С.В.

По направлению развития протонной терапии в отчетном году был предложен новый метод и соответствующее программное обеспечение для расчета конструкции модуляторов энергии протонов (гребенчатых фильтров), соответствующих заданным геометрическим параметрам облучаемых мишеней. Этот метод позволяет существенно ускорить поиск оптимальной конструкции фильтров, отвечающих требованиям качества лучевой терапии. Было проведено сравнение результатов расчетов и экспериментальных данных, полученных на линейном ускорителе протонов ИЯИ РАН при энергии протонов 160 и 209 МэВ. Проведенное сравнение и последующий анализ экспериментальных данных и результатов расчетов показали, что предложенный метод расчета модуляторов энергии позволяет достаточно быстро рассчитывать конструкцию модуляторов при выполнении медицинских требований к точности результирующих дозовых распределений. Эти научные результаты оригинальны и не имеют аналогов.

1.18 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ МЕДИЦИНСКИХ ИЗОТОПОВ НА СИЛЬНОТОЧНЫХ ПРОТОННЫХ ПУЧКАХ. ЛАБОРАТОРИЕЙ РАДИОИЗОТОПНОГО КОМПЛЕКСА ИЯИ РАН

Руководитель Жуйков Б.Л.

Совместно с Лос-Аламосской национальной лабораторией (США изучена зависимость выходов медицинского изотопа стронция-82 от режима облучения рубидиевых мишеней при высоких токах протонного пучка и при различной форме и смещении пучка. Внедрены элементы российской технологии получения стронция-82 в фирме ZEVACOR (США), где начинается регулярное производство продукции, которая будет поставляться в фармацевтические и медицинские учреждения США и России. Изучено влияние объема и геометрии Rb мишени на температуру Rb в процессе облучения мишени. Установлено, что увеличение диаметра мишени с 40 до 50 мм позволяет повысить ток пучка и, соответственно, производительность наработки ^{82}Sr на 20%. Эти результаты важны также для сооружения в будущем нового циклотрона с энергией протонов 70 МэВ.

Изучен механизма процессов, протекающих в сорбенте генератора рубидия-82, используемого при проведении ПЭТ-диагностики кардиологических и нейро-онкологических заболеваний, проводимой в РНЦРХТ, им. А.М. Гранова, г. Санкт-Петербург. Установлен механизм основных процессов, происходящих при приготовлении сорбента для генератора рубидия-82 и при его эксплуатации. Разработан новый вариант генератора повышенной производительности за счет увеличения объема сорбента. Продемонстрирована совместимость разработанного в ИЯИ РАН генератора рубидия-82 (вариант ГР-01) с разработанной в NAOGEN (Франция) инъекционной системой.

1.19 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ И ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНСПОРТИРОВКИ СИЛЬНОТОЧНЫХ ПУЧКОВ ПРОТОНОВ И ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ИОНОВ ВОДОРОДА В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ ИЯИ РАН.

Руководители Кравчук Л.В., Фещенко А.В.

ИЯИ РАН, ИФВЭ

В 2017 году выполнены работы по модернизации основных систем экспериментального комплекса: вакуумной системы, системы диагностики пучка, системы измерения потерь пучка, системы фокусирующих устройств и питания электромагнитных элементов, системы контроля и управления, системы радиационного контроля.

По вакуумной системе разработан, изготовлен, смонтирован, налажен и введен в эксплуатацию новый пост предварительной откачки на канале транспортировки пучка на комплекс протонной терапии. Проведена ревизия канала и демонтированы устройства, необходимость в которых в настоящее время отсутствует, что существенно упрощает условия транспортировки пучка. Начата замена вакуумных затворов и организация блокировок пучка от вакуумметров разделительных затворов.

По системе диагностики модернизирована система индукционного мониторинга тока пучка, включая систему контроля потерь и блокировки по разности показаний индукционных датчиков. Модернизирована система измерения профилей пучка. Приобретены и смонтированы двадцать новых ионизационных камеры, модернизирована система регистрации сигналов с камер. Выполненная модернизация позволяет осуществлять измерение импульсных, а не усредненных, как ранее, потерь пучка, что дает возможность создания системы быстрой аварийной защиты, которая отсутствует на экспериментальном комплексе. Увеличено число каналов регистрации системы нейтронного мониторинга с 28 до 43.

1.20 РАЗРАБОТКА УСКОРИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТА НИКА И ПОДГОТОВКА ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Отдел ускорительного комплекса, отдел экспериментальной физики ИЯИ РАН, ОИЯИ.
Руководители Л.В.Кравчук, А.Б.Курепин.

Разработаны методы калибровки модулей переднего адронного калориметра с помощью космических мюонов. Проведены Монте-Карло расчетов влияния отклика переднего адронного калориметра на физические параметры установки MPD/NICA в целом. В 2017 г. в рамках мегапроекта НИКА продолжалось сотрудничество ИЯИ РАН – ОИЯИ по разработке переднего адронного калориметра фрагментов для установки MPD/NICA. Подготовлен технический проект калориметра, состоящего из 90 индивидуальных модулей. В 2017 г. в ИЯИ РАН была изготовлена первая партия модулей переднего адронного калориметра

1.21 РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ КОМПАКТНЫХ ДЕТЕКТОРОВ ЯДЕРНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ ДЛЯ УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ В ШКОЛАХ И УЧЕБНЫХ ИНСТИТУТАХ

ОФВЭ ИЯИ РАН.

Руководитель О.В. Минеев

Разработаны и произведены сцинтилляционные детекторы элементарных частиц на основе экструзионного полистирола в виде пластин длиной 3 м и шириной от 3 до 10 см. Проведены измерения детектирующих элементов с участием студентов и аспирантов МФТИ и МИФИ на испытательном стенде в ИЯИ РАН и на тестовом пучке в ЦЕРН. В ходе проведения тестов исследовались световыход детекторов, затухание сигнала вдоль всей длины детектора, оптимальное расположение оптоволокон в сцинтилляторе, количество мультипиксельных фотодиодов и оптоволокон, необходимых для достижения заданных параметров по световыходу и временному разрешению. Силами студентов МФТИ создан стенд для испытаний спектросмещающих волокон на основе УФ светодиода как источника света и проведены измерения волокон для прототипа детектора из кубиков. На стенде также отрабатывались методы измерения параметров мультипиксельных фотодиодов МРРС Hamamatsu.

1.22 ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОГРАММЫ.

Руководитель проекта. к.э.н. Т.Г. Куденко.

Исполнитель - Сектор Информационных технологий ИЯИ РАН.

Основные результаты работы в 2017 году – доработка новой версии и обновление дизайна сайта Программы **WWW.PARTICLES_NUCLEI.INR.RU**. Обновление данных по разделам сайта. Размещение новых ссылок. Подготовка данных и создание разделов отчета по проектам программы за все предыдущие годы. Подготовка материалов для проведения расширенного заседания Научного Совета Программы. Отображение на страницах сайта материалов о заседании расширенного Научного Совета по соответствующим разделам – доклады, отчеты, иллюстративные и графические материалы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Составляющие Программу проекты отвечают мировому уровню исследований в этой области. Успешная реализация этих проектов позволяет сохранить высокий авторитет и уровень исследований в области физики элементарных частиц и ядерной физики в России. Выполнение этих проектов также позволяет проводить подготовку научных кадров как в институтах РАН, так и в крупнейших учебных центрах России: МГУ, СПбГУ, НГУ, МФТИ, МИФИ и др.