

Важнейшие достижения Института ядерных исследований Российской академии наук во 2 квартале 2016 года

Разработка теоретических проблем физики элементарных частиц, фундаментальных взаимодействий и космологии

В моделях распадающейся сверхтяжёлой тёмной материи с массой от 10^7 до 10^{16} ГэВ сотрудниками ОТФ Калашевым О.Е. и Кузнецовым М.Ю. проведены вычисления наблюдаемого спектра гамма-квантов, с учётом взаимодействия продуктов распада в гало. Путём сравнения предсказаний с данными современных экспериментов, наблюдающих ШАЛ, получены ограничения на массу и время жизни тёмной материи. Сравнение полученных ограничений с данными установки ШАЛ МГУ позволяет уверенно утверждать, что происхождение фотонного события, зарегистрированного установкой не объясняется в рамках рассмотренных моделей тёмной материи [1].

Калашев О.Е. вычислил спектр каскадных фотонов от взаимодействий КЛСВЭ с межгалактическим фотонным фоном в моделях, предполагающих преимущественно протонный состав космических лучей сверхвысоких энергий (КЛСВЭ). Сравнение вычисленного спектра с последними измерениями диффузного гамма-излучения (ДГИ), опубликованными обсерваторией Fermi Lat, позволило получить наиболее серьёзные на сегодняшний день, ограничения на эволюцию и распределение источников КЛСВЭ в указанных моделях. Также сделана оценка минимального ожидаемого вклада КЛСВЭ в поток ДГИ [2].

В модели распадающейся слабо взаимодействующей массивной тёмной материи Калашев О.Е. получил более сильные ограничения на время жизни частиц, исходя из сравнения предсказываемого сигнала вторичных фотонов с последними измерениями диффузного гамма-излучения (ДГИ), опубликованными обсерваторией Fermi Lat с учётом минимального вклада в ДГИ от космических лучей сверхвысоких энергий и неразрешенных астрофизических источников гамма излучения [2].

Рубцов Г.И. и Пискунов М.С. исследовали гамма-всплески, зарегистрированные Fermi LAT в диапазоне энергий выше 1 ГэВ. Показали, что излучение гамма-квантов в этом диапазоне имеет другую продолжительность по сравнению с излучением с энергиями от 100 МэВ до 1 ГэВ, причем длительность высокоэнергичного излучения может быть как больше, так и меньше соответствующей длительности при более низких энергиях. Ими было установлено, что описание гамма-квантов с энергиями выше ГэВ не требует введения дополнительного механизма излучения и может быть выполнено в рамках простой геометрической модели. В построенной модели коэффициент временного растяжения является функцией угла между направлением джета гамма-всплеска и направлением на наблюдателя. Предложен метод определения геометрии гамма-всплеск - наблюдатель на основании коэффициента временного растяжения и доли высокоэнергичной компоненты излучения [3].

Ларин С.А. в своей работе показал, что квантовая хромодинамика должна быть модифицирована путём введения в фундаментальный лагранжиан масс глюонов - переносчиков сильных взаимодействий (которые в настоящее время считаются безмассовыми). Это необходимо для адекватного описания массовой щели в спектральном представлении Челлена-Лемана, которое выводится из первых принципов Квантовой теории поля. Результат изложен в [4,5].

Математический метод наименьших квадратов использован для решения переопределенной системы трёх линейных уравнений с двумя неизвестными для нахождения численных значений двух коэффициентов в разложении по степеням числа лёгких кварков поправки 4-го порядка теории возмущений к КХД соотношению между фиксированными полюсными массами тяжёлых s -, b -, и t - кварков и логарифмически

убывающими с ростом энергий бегущими массами этих тяжёлых кварков. В процессе вычислений использовались численные значения этих поправок, полученные из численных расчетов 4-петлевых диаграмм Фейнмана на суперкомпьютере МГУ «Ломоносов» в 2015 г. П. Меркуардом (ДЭЗИ, Германия), А.В.Смирновым (МГУ), В.А. Смирновым (НИИЯФ МГУ) и М. Штейнхаузером (Технологический Институт Карлсруэ, Германия). Полученный А.Л. Катаевым (ИЯИ РАН, МФТИ) и В.С. Молокоедовым (МФТИ и ИТФ РАН, Черноголовка) результат $C_4 = 3567.6 - 745.721 n_1 + 43.396 n_1^2 - 0.678141 n_1^3$, приведённый без численной ошибки двух первых членов, полностью согласуется с проведённым той же группой учёных из Германии и России более детальным недавним анализом результатов расчётов на суперкомпьютере, появившемся в виде электронного препринта 21 июня 2016 г.

Проделанный ранее А.Л. Катаевым и В.С. Молокоедовым математический анализ служит первым строгим теоретическим аргументом в пользу самосогласованности сложных численных компьютерных расчётов, проведённых ранее на суперкомпьютере МГУ.

Полученные результаты имеют феноменологические приложения и могут использоваться для корректного определения значений масс тяжёлых b - и t - кварков из экспериментальных данных Большого адронного коллайдера с фиксацией теоретических неопределённостей (которые после учёта вычисленных членов превосходят теоретические неоднозначности) [6,7].

Публикации:

1) O.E. Kalashev, M. Yu. Kuznetsov / Constraining heavy decaying dark matter with the high energy gamma-ray limits // arXiv:1606.07354

2) O.E. Kalashev / Constraining Dark Matter and Ultra-High Energy Cosmic Ray Sources with Fermi Diffuse Gamma Ray Background // 19-th International Seminar on High-Energy Physics "Quarks-2016", Pushkin, Russia, 29 May – 4 June 2016

3) Maxim S. Piskunov and Grigory I. Rubtsov / TIME STRETCHING OF THE GeV EMISSION OF GRBs: *FERMI* - LAT DATA VERSUS GEOMETRICAL MODEL // The Astrophysical Journal, Volume 824, Number 1

4) S.A. Larin / The mass-gap in Quantum Chromodynamics // Preprint INR 1421/2016, April 2016.

5) S.A. Larin / The mass-gap in Quantum Chromodynamics // 19-th International Seminar on High-Energy Physics "Quarks-2016", Pushkin, Russia, 29 May – 4 June 2016

6) A.L. Kataev and V.S. Molokoedov / From perturbative calculations of the static potential towards four-loop pole-running heavy quarks masses relation m // arXiv:1604.03485, Принято к публикации в Труды 17 международной конференции по Прогрессу в технике вычислений и анализа экспериментальных данных в физических исследованиях, Вальпараисо, Чили, 2016

7) A.L. Kataev and V.S. Molokoedov / On the flavour dependence of α_s^4 correction to the relation between pole and running heavy quark masses // European Physical Journal (принято к печати).

Сильноточный линейный ускоритель ИЯИ РАН

Во втором квартале 2016 года на сильноточном линейном ускорителе ИЯИ РАН проведён сеанс, направленный на выполнение физической программы Института и измерения радиационной обстановки совместно с представителями Роспотребнадзора. Общая продолжительность сеанса составила 324 часа. Ускоренный пучок подавался на установку РАДЭКС, импульсный нейтронный источник ИН-06 и комплекс протонной терапии. Все работы велись с энергией 209 МэВ и частотой повторения импульсов до 50 Гц. На установку РАДЭКС пучок подавался в режиме длинного (до 120 мкс) и

короткого (1 мкс) импульса. В режиме длинного импульса интегральная наработка составила 640 мкА·часов. На ИН-06 интенсивность была до 32 мкА, длительность импульса до 120 мкс, а интегральная наработка составила 1200 мкА·часов. При работе на комплекс протонной терапии решалась задача отработки методики формирования пучка на входе в процедурную, работы велись при низкой интенсивности пучка, не более 100 нА. В сеансе также проводились испытания модернизированных систем и отдельных устройств, разработанных и внедренных на экспериментальном комплексе: вакуумная система, система диагностики, система измерения потерь, система защиты ускорителя, система допуска персонала.

Всего с начала регулярной работы ускорителя проведено 122 сеанса общей продолжительностью 44607 часов.

Среди работ по модернизации ускорителя следует отметить работы по переводу мощных импульсных модуляторов системы ВЧ питания начальной части ускорителя на генераторные лампы ГИ-71А вместо снятых с производства модуляторных ламп ГМИ-44А (рис. 1).



Рис.1 Общий вид лампы ГИ-71А, установленной в модуляторе МГ1.М1

К настоящему моменту успешно данная задача решена только для двух наименее мощных ВЧ каналов из семи. Нарботка этих каналов с новыми лампами уже достигла 1550 и 1800 часов. При испытаниях на более мощных каналах выявились проблемы, для решения которых необходимы дополнительные исследования, которые запланированы на второе полугодие.

Во втором квартале начаты работы по созданию стенда для облучения изделий электронной техники на выходе ускорителя, что увеличит его возможности и востребованность.

Продолжено сотрудничество с ведущими российскими и зарубежными ускорительными центрами.

В Лаборатории DESY, Гамбург, Германия, на Инжекторе Линейного ускорителя электронов сооружаемого Международного комплекса European XFEL на высоком уровне ВЧ мощности запущена первая станция системы специальной диагностики пучка TDS для измерений продольных характеристик сгустков электронов

сверхвысокой яркости с недостижимой для других методов измерений точностью (рис. 2). Система полностью разработана и изготовлена в ИЯИ РАН. Проведенные измерения эмиттанта сгустков электронов с зарядом $5.0 \cdot 10^{-10}$ кулона на энергии 120 МэВ показали рекордно низкий для данных условий эмиттанс пучка. Полученные результаты подтверждают правильность научно-технических решений, заложенных и реализованных как в системе TDS, так и в проекте European XFEL, в котором по масштабу вклада Россия является вторым, после принимающей страны, участником

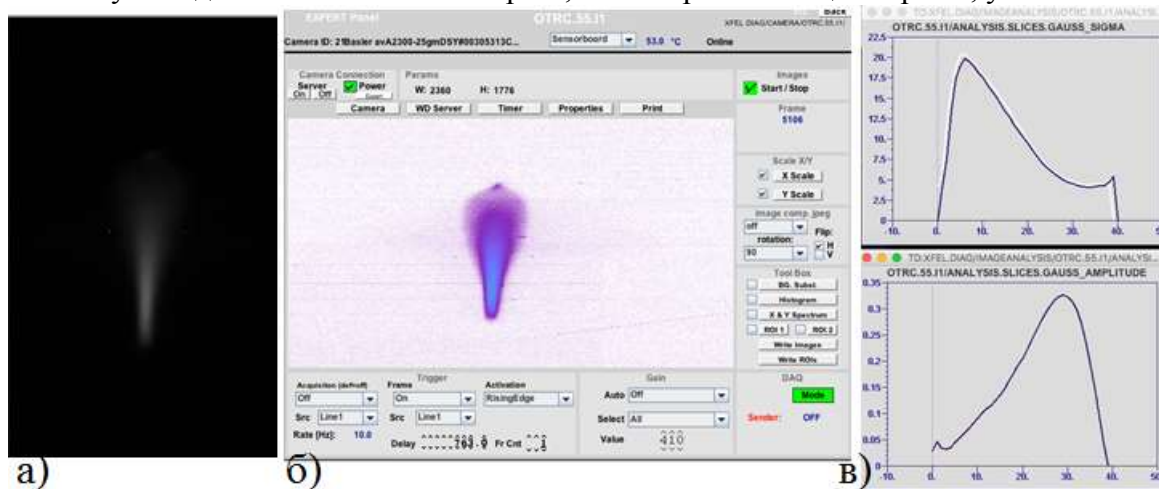


Рис. 2. Изображение развернутого системой TDS и смещенного с оси ускорителя сгустка электронов на OTR экране (а), оцифрованное изображение сгустка на мониторе панели управления (б) и обработанные распределения плотности частиц в сгустке (в).

Завершено выполнение НИР по договору с ФБГУ ГНЦ ИФВЭ по теме «Разработка узлов источника ионов водорода Н-минус для каскада ускорителей ЛУ-30 и У-1.5». Разработаны рабочие чертежи газоразрядной камеры, магнитной системы источника ионов, газового клапана, системы подачи цезия, ионно-оптической системы вытягивания (25 кВ) и ускорения (100 кВ) пучка ионов, элементов вакуумной системы. Изготовлены и налажены макеты блока контроля подачи цезия, блока контроля температуры корпуса, генератора вытягивающего напряжения (25 кВ). Получено соответствие их параметров требованиям технического задания.

Продолжены работы по созданию источника поляризованных ионов высокой интенсивности для ускорительного комплекса Нуклотрон – НИКА в Лаборатории физики высоких энергий ОИЯИ. Во втором квартале велись стендовые исследования источника и его монтаж и запуск на линейном ускорителе ЛФВЭ ОИЯИ. Работы ведутся в рамках договора между ИЯИ РАН и ОИЯИ «Стендовые исследования источника поляризованных ионов, последующее сопровождение его монтажа и запуска на форинжекторе НУКЛОТРОНА».

Продолжено выполнение НИР по контракту с лабораторией GSI, Германия по теме «Разработка, изготовление, испытания, поставка и наладка Измерителя формы сгустков (BSM) с тремя сменяемыми ВЧ дефлекторами и тремя сменяемыми электронными ВЧ трактами для линейных ускорителей GSI и проекта FAIR (линейный ускоритель протонов, ускоритель UNILAC и линейный ускоритель непрерывного действия)». Успешно завершён первый этап приемо-сдаточных испытаний на объекте.

Продолжено выполнение НИР по контракту с комплексом FRIB Мичиганского университета, США по теме «Разработка, изготовление, поставка и наладка Измерителя

Формы Сгустков для Комплекса пучков редких изотопов (FRIB) MSU». Начато изготовление измерителя.

Начато выполнение НИР по соглашению между ИЯИ РАН и Европейским нейтронным источником ERIC, Швеция «Разработка, изготовление, поставка и наладка Измерителей Формы Сгустков (BSM) для линейного ускорителя Европейского нейтронного источника ESS». Ведется разработка эскизного проекта.

В рамках НИР по договору с DESY по теме «Исследование, разработка и запуск электродинамических систем стенда фотоинжектора для исследования формирования сгустков электронов сверхвысокой яркости» в ДЕЗИ утвержден разработанный в ИЯИ РАН физический проект резонатора фото-инжектора и начата разработка конструкторской документации для изготовления. Проведены исследования и доработки ВЧ тракта системы отклонения пучка TDS PITZ для получения проектных параметров.

Финансирование работ, выполняемых по договорам, осуществляется исключительно из средств, получаемых по соответствующим договорам.

Публикации.

1. A. S. Belov, Design of Transversal Phase Space Meter for Atomic Hydrogen Beam Source, International Journal of Modern Physics: Conference Series, Volume 40 (2016), DOI: 10.1142/S2010194516601010, 1660101.
2. V. V. Fimushkin, A. D. Kovalenko, L. V. Kutuzova, Yu. V. Prokofichev, A. S. Belov, A. V. Turbabin, V. N. Zubets, Status of the SPI for the JINR Accelerator Complex, International Journal of Modern Physics: Conference Series, Volume 40 (2016), DOI: 10.1142/S2010194516601034, 1660103.

Установка РАДЭКС

В течение второго квартала 2016 года на установку РАДЭКС был проведен сеанс круглосуточной работы ускорителя протонов.

При подготовке к сеансу выполнены работы по совершенствованию системы герметизации и вакуумной откачки нейтроноводов трёх горизонтальных пролётных баз установки РАДЭКС. Проверена работоспособность детекторных систем, высоковольтных источников и систем регистрации спектрометрической информации. Измерения экспериментальных спектров проводились в режиме круглосуточного дежурства с 17 по 23 апреля.

Подготовка к измерениям на горизонтальных 50-метровых пролётных базах велась сотрудниками ОЭФ независимо двумя группами. На центральном нейтроноводе работала группа под руководством д.ф.-м.н. Ю.В.Рябова, проводившая измерения с использованием детектора NaJ.

На правом 50-метровом нейтроноводе над подготовкой сеанса работала группа под руководством д.ф.-м.н. Ю.В.Григорьева в составе: Ю.В. Григорьев, Д.В.Хлюстин, О.Н.Либанова. Использовался восьмисекционный жидкостный (n,gamma) детектор с органическим сцинтиллятором.

В связи с кончиной Ю.В.Григорьева перед сеансом, его сотрудники самостоятельно продолжили подготовку оборудования, успешно выполнив его включение, настройку и измерение спектрометрической информации. В ходе снятия экспериментальных спектров на правый нейтронный пучок для измерения графиков сечений взаимодействия нейтронов с соответствующими ядрами, ставились образцы тантала, железа, золота, урана, гамма-кванты от взаимодействия нейтронов с которыми регистрировались 8-секционным жидкостным (n,gamma) детектором.

Полученные экспериментальные результаты представлены на международной конференции ‘International Seminar on Interaction of Neutrons with Nuclei’ /ISINN-24/ в мае 2016 года в городе Дубна. Устный доклад ‘Measurements of transition and self-indication functions on samples of structural materials’ авторов Hliustin D.V., Libanova O.N. получил хорошую оценку Оргкомитета конференции и научной общественности, в том числе международной. Презентация доклада имеется на сайте конференции http://isinn.jinr.ru/past-isinns/isinn-24/3_day/hliustin.pdf

В результате измерений, выполненных при длительности нейтронной вспышки 1 микросекунда, экспериментально подтверждены:

- Достаточность разрешающей способности спектрометра на 50 метровой базе установки РАДЭКС для ряда актуальных задач;
- Высокая надёжность работы ускорителя с коротким импульсом;
- Достаточность интенсивности нейтронного потока для набора статистики при длительности протонного пучка 1 микросекунда.

Исследование взаимодействия нуклонов с малонуклонными системами и лёгкими ядрами

На пучке 15 МэВ-ных дейтронов циклотрона У-120 НИИЯФ МГУ исследована реакция $d+{}^2\text{H}\rightarrow{}^2n^S+{}^2p^S\rightarrow n+n+p+p$, идущая через образование в промежуточном состоянии синглетных пар – динейтрона (${}^2n^S$) и дипротона (${}^2p^S$). Впервые, в кинематически полном эксперименте получено значение энергии квазисвязанного синглетного 1S_0 состояния 2n -системы. Значение энергии состояния определено из сравнения экспериментального времяпролётного спектра нейтрона от развала 2n -системы с результатами моделирования, зависящими от этой энергии [1]. Полученное из χ^2 -анализа значение энергии $E_{nn} = 76 \pm 6$ кэВ, значительно ниже значений, пересчитанных из длин рассеяния в экспериментах по nd -развалу (120 – 160 кэВ), что возможно указывает на эффективное усиление nn -взаимодействия в промежуточном состоянии в исследуемой реакции [2].

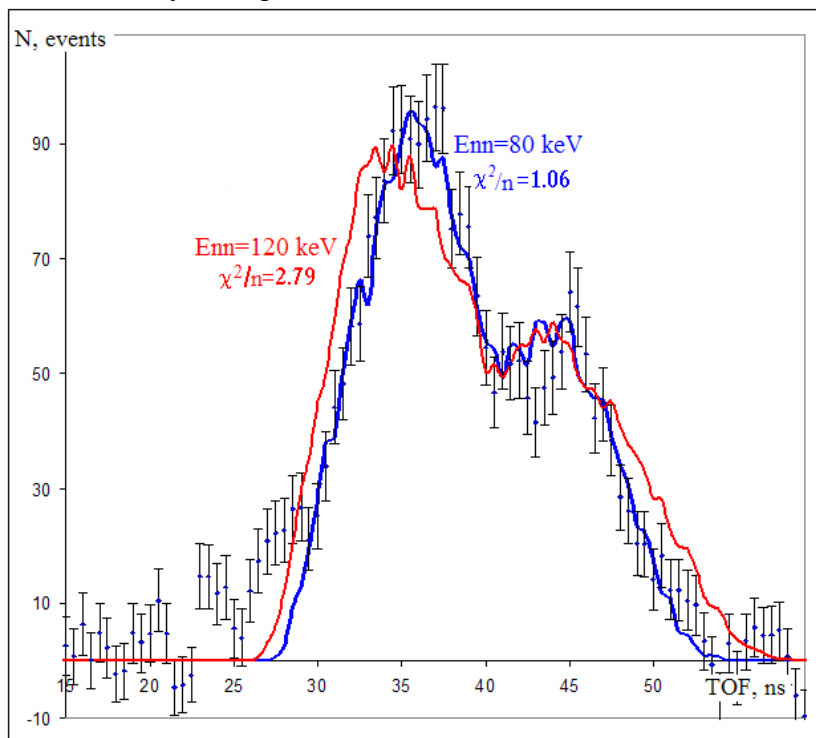


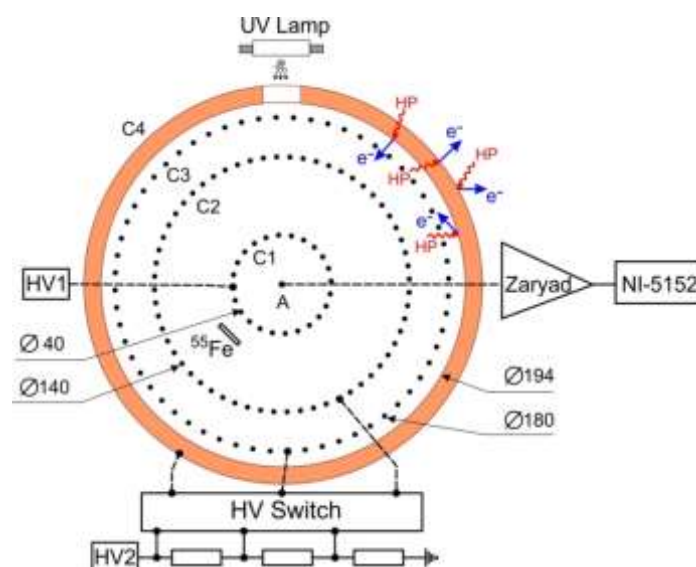
Рис.1. Экспериментальный времяпролётный спектр нейтронов в реакции $d+^2\text{H} \rightarrow ^2n^S+^2p^S \rightarrow n+n+p+p$ и результаты моделирования для значений энергии синглетного nn -состояния 80 кэВ (синяя кривая) и 120 кэВ (красная кривая).

Публикации:

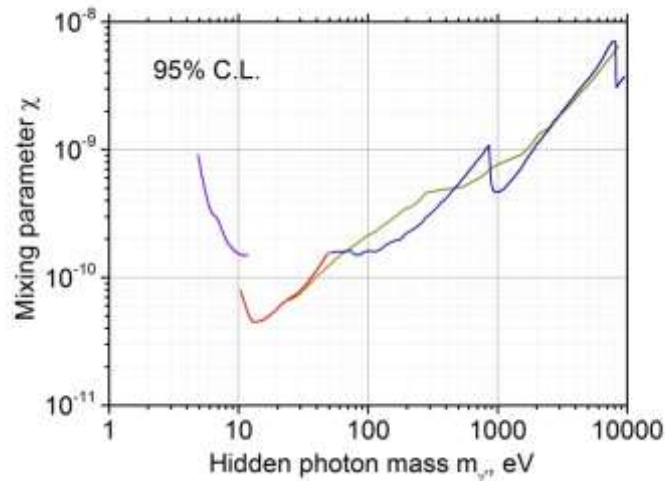
1. С.В. Зуев, А.А. Каспаров, Е.С. Конобеевский, и др. // Известия РАН. Серия физическая, 2016, том 80, № 3, с. 254–259.
2. E.S. Konobeevski, A.A. Kasparov, V.M. Lebedev, M.V. Mordovskoy, A.V. Spassky, S.V. Zuyev. Determination of energies of NN-singlet quasibound states in $d+^2\text{H} \rightarrow n+n+p+p$ reaction, Abstract of the report at The 23th European Conference on Few-Body Problems in Physics, Aarhus, Denmark, 8-12 August 2016

Метод регистрации скрытых фотонов

Впервые в мире предложен и реализован метод регистрации скрытых фотонов с массой от 5 эВ до 10 кэВ по одиночным электронам, эмитируемым из металлического катода мультикатодного счётчика под действием скрытых фотонов. Статья с подробным описанием метода будет опубликована в журнале «Письма в ЖТФ» в августе 2016 г.



В результате прямых измерений на лабораторной установке в диапазоне масс скрытых фотонов от 5 эВ до 10 кэВ получен предел на константу кинетического смешивания χ . Результат опубликован в журнале «Advances in High Energy Physics», vol. 2016, Article ID 2058372, 2016 doi. 10.1155/2016/2058372



Поиск гипотетических массивных векторных частиц (скрытых фотонов), образующих холодную тёмную материю в Галактике, предложенных в 1982 году советским учёным Л.Б.Окунем. При анализе данных предполагается, что тёмная материя состоит целиком из скрытых фотонов заданной массы. Это позволяет ставить пределы на смешивание между фотоном и скрытым фотоном по одиночным электронам, эмитируемым из металлического катода мультикатодного счётчика под действием скрытых фотонов. С экспериментальной точки зрения здесь постулируется смешивание частиц тёмной материи с фотоном, и задача заключается в экспериментальной проверке этого свойства тёмной материи. Следует отметить, что проводимый эксперимент чувствителен к конверсии HP-photons и не чувствителен к конверсии photon-HP, что, с экспериментальной точки зрения, не одно и то же и требует отдельной проверки. Астрофизическое ограничение для многоступенчатого процесса конверсии обычного фотона в скрытый фотон в условиях высоких температур и очень высоких плотностей звёздной плазмы (недоступно для экспериментальной проверки), пролёта скрытого фотона из недр звезды к лабораторной установке и конверсии скрытого фотона в обычный фотон в рабочем объёме детектора лежит на 2-3 порядка ниже по величине константы смешивания. Для повышения чувствительности детектора принципиально важно понизить скорость счёта ложных импульсов, с этой целью в настоящее время изготавливается новый счётчик усовершенствованной конструкции.

Поиск нейтрино от гравитационных коллапсов звёзд

За период наблюдения за Галактикой по данным Артёмовского Сцинтилляционного 100-тонного Детектора (АСД) с ноября 1977г. по июль 2016г. кандидатов на нейтринные вспышки от гравитационных коллапсов звёзд обнаружено не было. За 38.6 лет работы получено ограничение на частоту гравитационных коллапсов: менее одного события за 16.76 года на 90% доверительном уровне.

O. Ryazhskaya, "Study of the penetrating component of cosmic rays underground using large scintillation detectors", 2016 J. Phys.: Conf. Ser. 718 052036.

По данным работы Российско-итальянской установки LVD с 1992 по 2016 год (24 года) получен предел на частоту гравитационных коллапсов звёзд в Галактике, равный 0.096 года^{-1} .

Проводится анализ совпадения сигналов детекторов LVD, АНС и БПСТ с целью поиска корреляционных эффектов.

Эксперименты на детекторе большого объёма LVD

На основе данных трёх башен LVD в течение 16 лет определены параметры вариаций нейтронов, генерированных мюонами космический лучей в подземном детекторе LVD (LNGS, Италия). Измерение удельного числа нейтронов (число нейтронов на мюон) в летние и зимние периоды позволило определить величину сезонных вариаций энергий мюонов.

По результатам работы готовится выступление на Всероссийской конференции по космическим лучам ВККЛ 2016: Н.Ю. Агафонова и др. (Коллаборация LVD) «Измерение сезонных вариаций удельного числа нейтронов, генерируемых мюонами под землей с помощью детектора LVD».

Проведён долговременный анализ фона (постоянной и варьирующейся компоненты), регистрируемого детектором LVD в подземной лаборатории LNGS.

Готовится выступление на Всероссийской конференции по космическим лучам ВККЛ 2016: Е.А. Добрынина и др. (Коллаборация LVD) «Изучение низкоэнергетического фона в подземной лаборатории Гран Сассо с помощью детектора LVD».

Эксперимент OPERA

Завершается разбор детектора международного эксперимента OPERA. С участием российских ученых ИЯИ РАН систематизируется база данных событий OPERA. В 2015 году обнаружено 5-ое событие-кандидат на появление тау нейтрино в пучке мюонных нейтрино из ЦЕРНа. Сканируются последние пластины с кандидатами на редкие события.

Принята в печать работа о новом методе определения заряда в магнитных спектрометрах детектора OPERA для идентификации мюонов при распаде тау лептонов и взаимодействий мюонных нейтрино. Помимо кинематического анализа мюонных тау-лептонов, это помогает в снижении фона, возникающего при распаде очарованных частиц, образующихся в СС взаимодействиях мюонных нейтрино.

N. Agafonova et al. (OPERA Coll.) «Determination of the muon charge sign with the dipolar spectrometers of the OPERA experiment», JINST_056P_0416

Байкальский глубоководный нейтринный телескоп

В содружестве учёных ИЯИ РАН и ОИЯИ осуществлён монтаж и запуск на озере Байкал в режимах тестирования и набора данных кластера из восьми гирлянд оптических модулей (по 36 ОМ на каждой), представляющего собой базовый структурный элемент создаваемого глубоководного нейтринного телескопа НТ1000 (Baikal-GVD) кубокилометрового масштаба. При работе в автономном режиме кластер представляет собой один из трёх крупнейших в мире действующих нейтринных телескопов с чувствительностью, позволяющей вести поиск событий от внеатмосферных нейтрино высоких и сверхвысоких энергий, зарегистрированных впервые в эксперименте на детекторе IceCube.

Поиск массы электронного антинейтрино: исследование систематических эффектов

Проводится исследование эффекта потерь энергии электроном при упругом рассеянии на молекуле водорода.

Исследуются систематические поправки при измерении спектра неупругих потерь электронов на молекуле водорода.

Проводятся исследования возможности регистрации электронов бета-распада трития с помощью микропиксельного лавинного фотодиода производства Zecotek Photonics Inc, Дубна.

Представлен доклад на Международную сессию-конференцию Секции ЯФ ОФН РАН «Физика фундаментальных взаимодействий», 12-15 апреля 2016 г., ОИЯИ, г. Дубна Московской области: N.Titov, INR RAS for the KATRIN Collaboration «KATRIN-2016: Status and perspectives, systematic studies»

Вышла из печати статья M. Arenz et. al. Commissioning of the vacuum system of the KATRIN Main Spectrometer Journal of Instrumentation 11(04):P04011-P04011 · April 2016

Принята к печати статья A.V. Lokhov and N.A. Titov, Anharmonicity of internal atomic oscillation and effective antineutrino mass evaluation from gaseous molecular tritium β -decay J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. 43 (2016) 075102

Опубликована работа Alexey V. Lokhov, Fyodor V. Tkachov. Statistical criteria for search of heavy neutrino in tritium spectrum // Journal of Physics Conference Series 718(6) (2016) 062039

Прямые лабораторные поиски тяжёлой компоненты нейтрино в кинематике радиоактивных распадов

Подготовлен и проведен сеанс измерений с тритием. Набрана статистика по измерению спектра электронов в распадах трития. Основной целью является поиск стерильных нейтрино в набранных спектрах. Начата обработка полученных данных. Модернизированы и отлажены отдельные элементы вакуумной и крио-систем. В целях создания центра коллективного пользования, основываясь на предложениях других институтов в Троицке по проведению совместных работ, завершено создание переливочного узла для жидкого гелия, Фото 1.



Фото 1. Переливочное устройство жидкого гелия в сборе. Вся часть гелиево-провода и охлаждения жидким азотом разработана и компактно размещена с толстым металл рукаве.

Продолжается работа по созданию быстрого детектора электронов на основе лавинных фотодиодов. Проводятся исследования рабочей смеси для газового счетчика с частичным наполнением тритием.

Активно продолжают вычисления по расчетам магнитной системы электронной пушки.

Опубликована в журнале Nuclear Instruments and Methods статья по исследованию рассеяния электронов на кремниевом детекторе, Фото 2.



Фото 2. Первая страница статьи по исследованию рассеяния электронов на детекторе.

Поиск редких мюонных процессов с нарушением лептонных чисел (эксперимент Mu2e)

Разработан проект, совместно с ОФВЭ ФИАН, тестового пучка электронов (позитронов) с энергией 20 – 100 МэВ, разрешением $\sigma_p/p \approx 2\%$ и интенсивностью ≈ 1000 ч/сек на базе синхротрона ФИАН (Пахра). Тестовый пучок необходим для проведения калибровочных измерений с образцами калориметра на основе кристаллов NaI, CsI, BaF₂ и LYSO и новых фотодетекторов APD и SiPM.

Институт ядерных исследований РАН участвует в совместном международном эксперименте Mu2e (FNAL, США) по поиску процесса $\mu \rightarrow e$ конверсии с уровнем чувствительности превышающем на пять порядков современное экспериментальное ограничение на данный процесс. Основная идея эксперимента предложена и разработана сотрудниками института ядерных исследований. Поиск процессов вне рамок Стандартной модели представляет собой одну из главных задач современной физики. Повышение уровня чувствительности в эксперименте Mu2e на несколько порядков может привести к обнаружению новых взаимодействий, порождаемых новыми тяжёлыми частицами с массами ≈ 1000 ТэВ, которые невозможно получить в ближайшем будущем на ускорителях. Эксперимент Mu2e был принят DOE (Department of Energy, US) 11 ноября 2009.

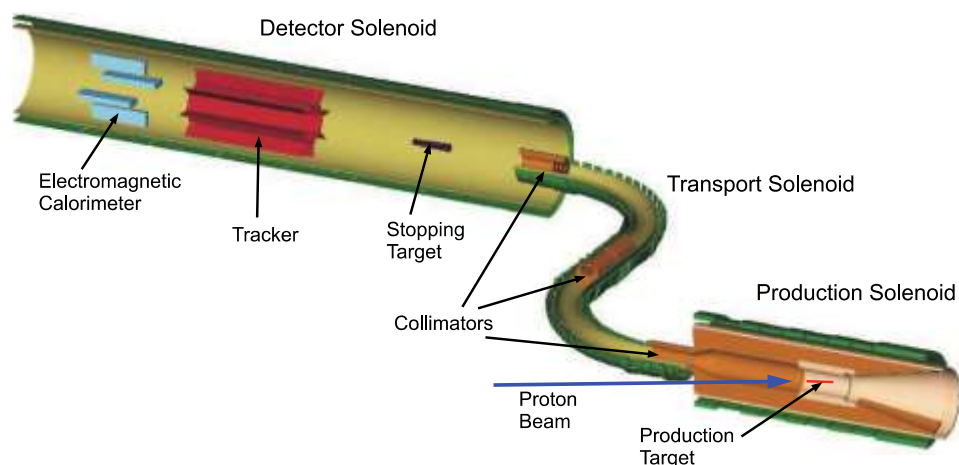


Рис. 1 Эксперимент Mu2e по поиску процесса $\mu \rightarrow e$ конверсии (web site <http://mu2e.fnal.gov>)

В марте 2012 г. завершена первая стадия CD-0 эксперимента : разработка концепции, оценка стоимости эксперимента. Коллаборацией подготовлен CDR (Conceptual Design Report), который завершает эту работу. В 2016 г. комитетом DOE США проведена проверка выполнения стадии CD-2/3 проекта и одобрена следующая стадия CD-3c.

Во втором квартале 2016 г. проводились работы совместно с группой В.А Башкова ОФВЭ (отдел физики высоких энергий) ФИАН по разработке проекта тестового пучка электронов (позитронов) с энергией 20 – 100 МэВ, разрешением $\sigma_p/p \approx 2\%$ и интенсивностью ≈ 1000 ч/сек на базе синхротрона ФИАН (Пахра). Для создания тестового пучка используется медленный (1 мсек) вывод 600 МэВ электронов ускорителя на внутреннюю мишень ускорителя для получения пучка тормозных фотонов. Пучок фотонов направляется на внешнюю мишень-конвертор для рождения электрон-позитронных пар. Магнитные элементы канала, состоящие из поворотных магнитов и квадрупольных линз, формируют вторичный электронный или позитронный тестовый пучок. Временная структура тестового пучка задается медленным выводом (1 мсек) и частотой 50 Гц формирования 600 МэВ пучка ускорителя. Таким образом среднее минимальное время между электронами тестового пучка составляет ≈ 20 мсек. Такое время необходимо для изучения кристаллов с временем высвечивания ≈ 1 мсек.

Тестовый пучок необходим для проведения калибровочных измерений с образцами калориметра на основе кристаллов NaI, CsI, BaF₂, LYSO и новых фотодетекторов APD, SiPM. Проведение тестовых измерений необходимо для разработки калориметра в области низких энергий - 50 МэВ с энергетическим разрешением $\sigma_E/E \approx 1\%$ для эксперимента Mu2e (FNAL) по поиску редких мюонных процессов. Работа по калориметру проводится совместно с группой Ю.И. Давыдова ЛЯП (лаборатория ядерных проблем) ОИЯИ, которая изготавливает элемент калориметра 3x3 состоящий из 9 кристаллов BaF₂.

Поиск тёмной материи Вселенной

Поиск WIMP малой массы (< 10 ГэВ) и аксионов, испускаемых Солнцем.

Изготовлен макет камеры заполненный газом: H₂+ TMAE или D₂+ TMAE, проведены испытания и показано, что реально проведение эксперимента в низкофоновых условиях подземной лаборатории по поиску WIMP с массой < 10 ГэВ, а

также аксионов, испускаемых Солнцем. Изготовлена камера объёмом 0,5 м³ для постановки эксперимента с полным подавлением фона электронов.

Результаты опубликованы в журнале “Universal Journal of Physics and Application” 10(2) 58-59 (2016) USA.

Исследование подпорогового рождения лёгких векторных мезонов и заряженных каонов в протон и фотоядерных реакциях

Завершено экспериментальное и теоретическое изучение совместно с коллаборацией CBELSA/TAPS (Бонн, Германия) инклюзивной реакции (γ , η') на ядре ниобия при энергии первичных фотонов 1.3-2.6 ГэВ с целью определения модификации массы η' мезонов в ядерной среде. Полученные в данной работе результаты подтверждают сделанный в предыдущей работе коллаборации (M. Nanova, V. Metag, E. Ya. Paryev et al., Phys. Lett. B 727 (2013) 417) вывод на основе анализа соответствующих данных на ядре углерода о величине сдвига массы η' мезонов в ядерной среде.

По результатам этой работы оформлена статья в журнал Phys.Rev.C.

Determination of the real part of the η' -Nb optical potential

M. Nanova¹, S. Friedrich¹, V. Metag¹, E. Ya. Paryev², F. N. Afzal³, D. Bayadikov^{3,4}, R. Beck³, M. Becker³, S. Böse³, K.-T. Brinkmann¹, V. Crede⁵, D. Elsner⁶, F. Frommberger⁶, M. Grüner⁵, E. Gutz¹, Ch. Hammann³, J. Hannappel⁶, J. Hartmann³, W. Hillert⁶, P. Hoffmeister³, Ch. Honisch³, T. Jude⁶, F. Kalischewski³, I. Keshelashvili^{7,8}, F. Klein⁶, K. Koop³, B. Krusche⁷, M. Lang³, K. Makonyi^{1,9}, F. Mese⁶, J. Müller³, J. Müllers³, D.-M. Plontek³, T. Rostomyan⁷, D. Schaab³, C. Schmidt⁷, H. Schmielen⁶, R. Schmitz³, T. Seifert¹, C. Sowa⁸, K. Spieker³, A. Thiel¹, U. Thoma³, T. Trifflerer⁸, M. Urban³, H. van Pee³, D. Walther³, C. Wendt³, D. Werthmüller^{7,8}, U. Wiedner⁸, A. Wilson³, L. Witthauer⁷, Y. Wunderlich³, and H.-G. Zannick¹ (The CBELSA/TAPS Collaboration)

¹H. Physikalisches Institut, Universität Gießen, Germany

²Institut of Nuclear Research,
Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

³Heinrichs-Institut für Strahlen- und Kernphysik,
Universität Bonn, Germany

⁴Petersburg Nuclear Physics Institute, Gatchina, Russia

⁵Department of Physics,
Florida State University, Tallahassee, FL, USA

⁶Physikalisches Institut, Universität Bonn, Germany

⁷Departement Physik, Universität Basel, Switzerland

⁸Physikalisches Institut, Universität Bochum, Germany

⁹Current address: Institut für Kernphysik,
Forschungszentrum Jülich, Germany

¹⁰Current address: Stockholm University, Stockholm, Sweden

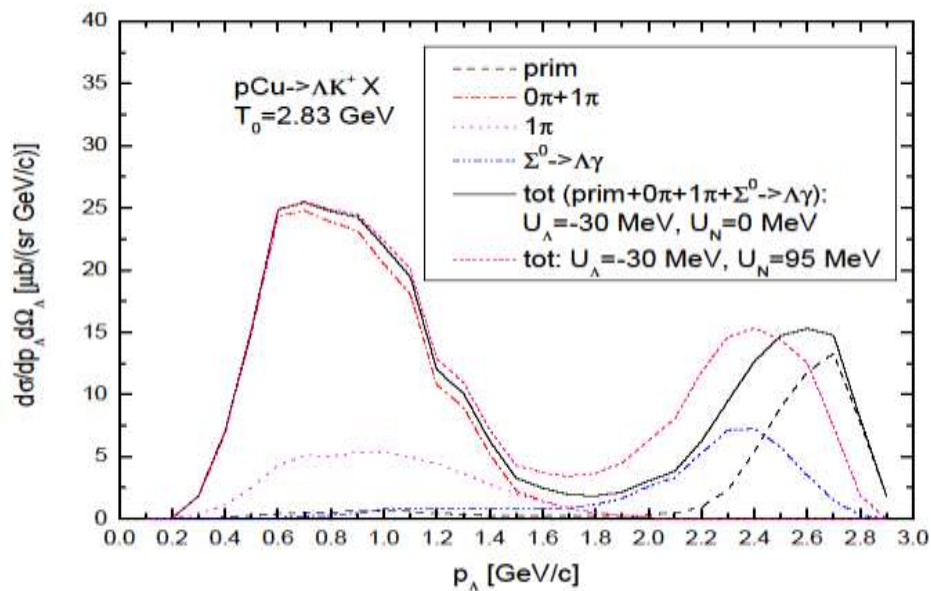
¹¹Current address: School of Physics and Astronomy,
University of Glasgow, UK

(Dated: May 3, 2016)

The excitation function and momentum distribution of η' mesons have been measured in photo-production off ³⁵Nb in the energy range of 1.2-2.9 GeV. The experiment has been performed with the combined Crystal Barrel and MiniTAPS detector system, using tagged photon beams from the ELSA electron accelerator. Information on the sign and magnitude of the real part of the η' -Nb potential has been extracted from a comparison of the data with model calculations. An attractive potential of $-(46 \pm 10(\text{stat}) \pm 15(\text{syst}))$ MeV depth at normal nuclear matter density is deduced within model uncertainties. This value is consistent with the potential depth of $-(37 \pm 10(\text{stat}) \pm 10(\text{syst}))$ MeV obtained in an earlier measurement for a light nucleus (carbon).

PACS numbers: 14.40.Be, 21.65.-f, 25.20.-e

Завершена разработка соответствующей модели протон-ядерного взаимодействия, предназначенной для анализа новых экспериментальных данных по эксклюзивному рождению Λ гиперонов совместно с $K(+)$ мезонами в pA столкновениях при энергии пучка 2.83 ГэВ, полученных в эксперименте на ускорителе COSY Коллаборацией ANKE, Юлих, Германия в рамках российско-германского научного сотрудничества. Цель этой работы - определение импульсной зависимости лямбда-ядерного оптического потенциала (его мнимой и вещественной частей) при импульсах порядка 0.5--1 ГэВ/с. А также: извлечение практически неизвестного в настоящее время полного сечения Λ -N взаимодействия в интервале импульсов 0.2-1.0 ГэВ/с, проверка предсказаний конституэнтной кварковой модели относительно Λ -N взаимодействия. На основе данной модели был написан ряд вычислительных программ, позволяющих рассчитать сечение изучаемой реакции на ядрах C, Cu, Ag, Au с учётом различных эффектов среды. Пример первого расчёта по этим программам показан на прилагаемом ниже рисунке.



Изучение роли собственной энергии в переходах нейтрон-антинейтрон.

Осцилляции частиц в поглощающей среде. Регенерация каонов

Опубликована статья V.I. Nazaruk, arXiv:1604.04547 [hep-ph] “Kaon regeneration”.

***Исследования релятивистских ядро-ядерных столкновений на установке PHENIX
(в рамках соглашения о сотрудничестве с Брукхэвенской национальной
лабораторией, США).***

Во втором квартале 2016 г. продолжался набор статистики на релятивистских пучках коллайдера RHIC. Сотрудники Института приняли участие в проведении круглосуточных смен, а также в работе и обсуждении подготавливаемой к печати статьи с результатами измерений на установке PHENIX.

***Барионные системы и ядра с необычными свойствами в топологических
(киральных) солитонных и других моделях***

Продолжены (совместно с Д.Е.Ланским (НИИЯФ МГУ) и И.К.Поташниковой (Университет Санта Мария, Вальпараисо, Чили)) расчеты спектров ядерных состояний с квантовыми числами очарование и прелесть (бьюти). Расчёты энергий связи проводятся в рамках топологической солитонной модели. Впервые изучается влияние на энергию связи изменения масштаба всего скирмиона (сжатия или расширения как целого). Показано, что при включении энергии возбуждения флейворов (странности, очарования и/или прелести) уменьшение размера всего солитона существенно понижает энергию состояний, в особенности для барионного числа 1, то есть для гиперонов. Это приводит к понижению энергии связи барионных систем (гиперядер), поэтому в ряде случаев ожидаются отрицательные результаты.

Публикации:

Neutron-Antineutron Oscillations: Theoretical Status and Experimental Prospects D.G. Phillips, II ... V.B.Kopeliovich et al.. Oct 4, 2014. 45 pp. Published in Phys.Rept. 612 (2016) 1-45

Vladimir Kopeliovich (Moscow, MIPT & Moscow, INR), Irina Potashnikova (CCTVal, Valparaiso & Santa Maria U., Valparaiso). Phys. Rev. D93, 074012 (2016) e-Print: arXiv:1510.05958 [hep-ph]

Vladimir Kopeliovich (Moscow, MIPT and Moscow, INR), Irina Potashnikova (CCTVal, Valparaiso and Santa Maria U., Valparaiso). Международная Сессия-конференция Секции ядерной физики ОФН РАН 12 - 15 апреля, 2016, ОИЯИ Дубна

Vladimir Kopeliovich (Moscow, MIPT and Moscow, INR), Irina Potashnikova (CCTVal, Valparaiso and Santa Maria U., Valparaiso). Международная конференция Hadron Structure and Quantum Chromodynamics (HSQCD), 27 июня – 1 июля 2016г., Гатчина, ПИЯФ.

Исследования нейтрон-ядерных взаимодействий методом времени пролёта на установках НСВП-ТРОНС ОЭФ ИЯИ РАН и ИРЕН, ИБР-2М ЛНФ ОИЯИ

Проведены тестовые эксперименты по проверке систем проводки и контроля параметров пучка на нейтронопроизводящую мишень «РАДЭКС» методом времени пролёта. Были восстановлены системы вакуумирования и контроля вакуума в горизонтальных времяпролётных каналах (3канала), т.к. они не использовались длительное время. Использовались в измерениях две экспериментальные установки 4 сц. NaI(Tl) 150x100 от установки «РОМАШКА» и РЭПС.

Тестовые измерения времяпролётных спектров нейтронов импульсного источника в области энергий от тепловой до 10-50 КэВ позволили сделать следующие выводы:

- Положение протонного пучка на мишени стабильно в пределах измеряемого времени (3-5 час),
- Временные параметры генерируемого импульса нейтронов соответствует заданным и выдерживается стабильно.
- Длительности импульсов нейтронов соответствуют заданным (35, 1.5 и 0.3 мксек) и полностью перекрывают требуемый по проекту диапазон.
- Интенсивность нейтронного потока, как и следовало ожидать пропорциональна среднему току протонов.
- Фоны в экспериментальных зонах имеют приемлемые величины, но требуют дальнейшего изучения.

Дальнейшее изучение и совершенствование Нейтронного комплекса Протонный Линейный Ускоритель и Нейтронопроизводящая мишень «РАДЭКС» + Времяпролётный спектрометр ТРОНС позволяют утверждать, что в апреле в ИЯИ РАН впервые в России создан современный импульсный нейтронный источник с протонным драйвером (третий в мире), не уступающий другим по параметрам.

Исследование ядерно-ядерных взаимодействий на установке АЛИСЕ (ЦЕРН)

В течение многих лет в составе супердетектора АЛИСЕ, предназначенного для изучения свойств сверхплотной ядерной материи, образующейся при столкновении встречных пучков релятивистских (с энергией несколько ГэВ на нуклон) ионов свинца, успешно используется стартовый триггерный детектор T0, предназначенный для выработки стартового сигнала момента столкновения ионов с точностью лучше 50 пикосекунд для время-пролётной идентификации частиц. Триггерные сигналы детектора T0 используются для эффективного отбора протон-протонных событий по положению вершины, а также в качестве minimum-bias триггера. Вершинный триггерный сигнал T0 оказывается малочувствительным к столкновениям пучка с газом, поэтому используется для определения светимости в протон-протонных столкновениях и для точного определения времени столкновения встречных пучков.

Во втором квартале 2016 года произведен анализ данных сканирования Ван дер Мера, для р-р столкновений при энергии $\sqrt{s}$ 13 TeV и $\sqrt{s}$ 5 TeV с использованием передних детекторов T0, V0. Точное определение светимости и его мониторинг необходим, поскольку значение светимости входит в расчеты сечений всех физических процессов. Предварительные значения сечений для сканирования с использованием детектора T0 при энергии $\sqrt{s}$ 13 ТэВ составляют 29.23 ± 0.17 мб, и 22.23 ± 0.02 мб при энергии $\sqrt{s}$ 5ТэВ.

В рамках программы модернизации детекторных систем установки АЛИСЕ на Большом адронном коллайдере (БАК) в ЦЕРН продолжены работы по выбору эффективных методов оптимизации детектора ФИТ установки ALICE, с целью применения его в будущих экспериментальных исследованиях кварк-глюонной материи на пучках Большого адронного коллайдера ЦЕРН, после реконструкции коллайдера в 2017-2018 гг., когда его светимость будет увеличена более, чем в 10 раз.

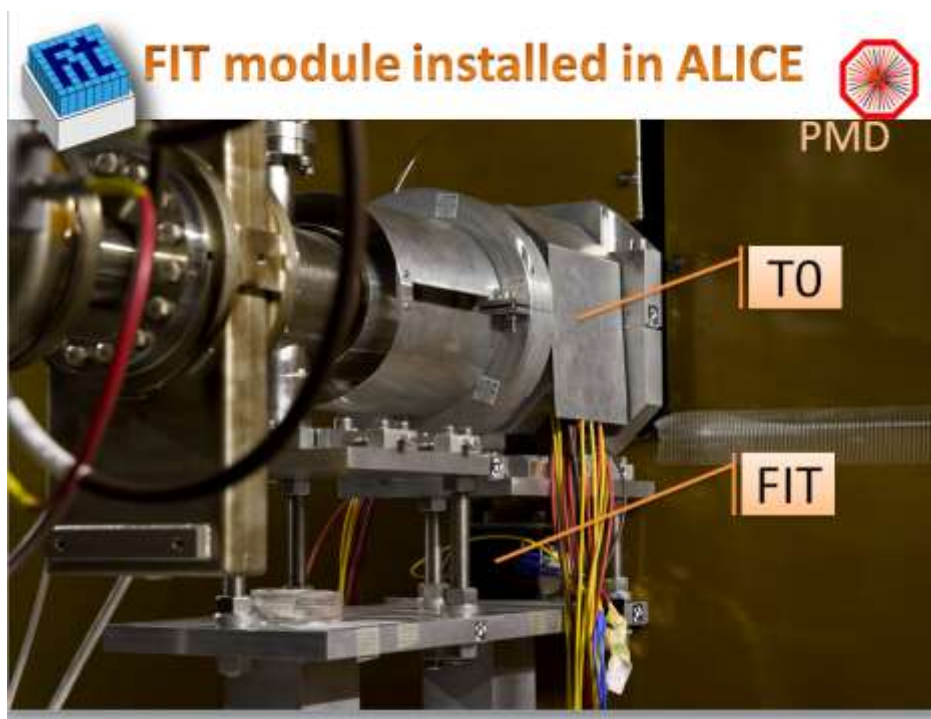


Рис.1 Детекторы T0 и ФИТ на установке АЛИСЕ

Во втором квартале проведены работы по моделированию функции отклика детектора и эффективности регистрации заряженных частиц с учётом изменения геометрии детектора ФИТ. Изменение геометрии вызвано необходимостью уменьшения динамического диапазона амплитудных сигналов и временем жизни микроканальных ФЭУ. В новой геометрии детектора увеличивается расстояние от ионопровода до внутреннего кольца детектора ФИТ.

В феврале 2016 года проведен монтаж прототипа детектора ФИТ на установке АЛИСЕ (ЦЕРН) для проведения испытаний в реальных условиях эксперимента с использованием разработанных прототипов электроники. На рис.1 показаны детекторы T0 и ФИТ на установке АЛИСЕ.

Во втором квартале были проведены измерения зависимости коэффициента усиления фотоумножителей (MCP XR 85012) от напряженности магнитного поля на установке АЛИСЕ в связи с необходимостью выбора рабочих напряжений фотоумножителей таким образом, чтобы можно было работать в широком диапазоне амплитуд сигналов ФЭУ 1 : 300 с хорошим временным разрешением.

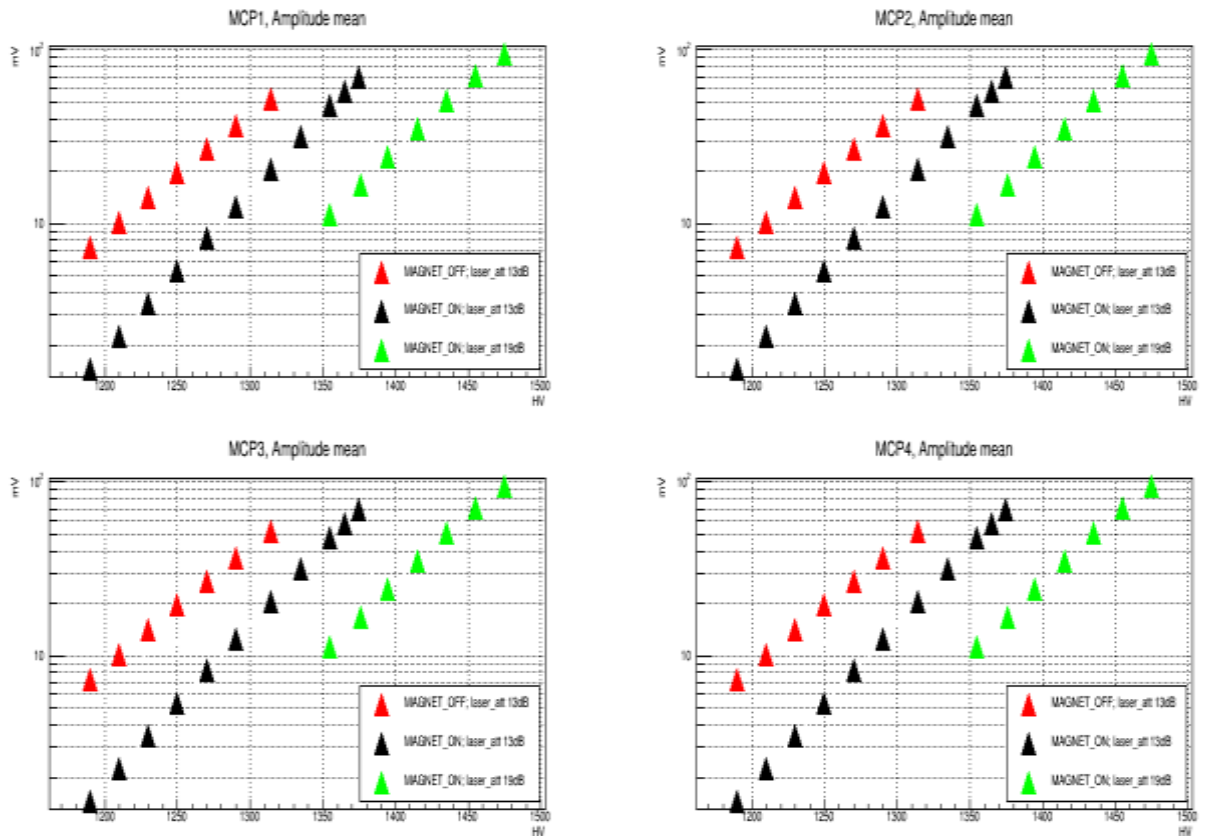


Рис.2. Зависимость амплитуды выходного сигнала детектора ФИТ от напряжения питания фотоумножителя MCP XR 85012 при двух значениях магнитного поля.

Тестовые испытания прототипов детектора ФИТ были проведены в июле 2016 года на пучке PS, CERN. Были исследованы возможности применения трех типов оптической смазки : Rhodorsil Paste 7(RP7), Bluesil Paste 7(BP7) Dow Corning 200 (DC200). Оптические смазки BP7 и DC200 показали одинаковые оптические параметры. 30 % света теряется при использовании смазки RP7 по сравнению со смазками BP7 и DC200. Также исследовалось влияние входного кварцевого окна фотоумножителя MCP XR 85012 на эффективность сбора света и возможность использования радиаторов меньшей толщины.

На «FIT review meeting», который состоялся в ЦЕРНЕ 16 июня 2016 года был представлен проект триггерной и считывающей электроники детектора ФИТ, результаты испытаний созданных образцов детектора ФИТ.

Исследование рождения векторных мезонов в адрон-ядерных и ядерно-ядерных взаимодействиях на установке HADES (GSI, Германия)

В 1 полугодии 2016г. продолжался начатый ранее анализ данных Au+Au, полученных коллаборацией HADES с участием ИЯИ РАН в сеансе 2012 г. при энергии налетающих ядер золота 1.23 ГэВ на нуклон в лабораторной системе. Проведена оценка систематических ошибок в определении коллективных потоков протонов. Результаты анализа доложены на совещании коллаборации ХАДЕС 7 - 11 марта в 2016г. в ГСИ в Дармштадте.

Во втором квартале группой ИЯИ РАН продолжалась работа по разработке проекта нового многоканального сцинтилляционного годоскопа для определения центральности

и угла плоскости реакции. В рамках этого проекта ведется моделирование точности определения центральности и угла плоскости реакции, изготовлены и протестированы прототипы сцинтилляционных ячеек годоскопа. Свет от ячеек собирается с помощью спектросмещающего оптоволокну и считывается с помощью микропиксельных фотодиодов.

Продолжается работа по сборке и тестированию модулей нового 1000 канального электромагнитного калориметра для установки ХАДЕС.

Исследование рождения адронов в адрон-ядерных и ядро-ядерных столкновениях на CERN SPS (эксперимент NA61)

В первом и втором кварталах выполнялась работа по анализу экспериментальных данных в сеансах 2011 – 2015гг, полученных в реакциях $\text{Be}^7 + \text{Be}^9$ и $\text{Ar} + \text{Sc}$ при энергиях налетающих ядер 13, 20, 30, 40, 75 и 150 АГэВ.

Завершена модернизация центральной части переднего адронного калориметра.

Проведена замена 160 микропиксельных фотодиодов на более быстрые фотодиоды производства Хамаматсу. Проведена модернизация входной электроники центральной части адронного калориметра. Усовершенствована система охлаждения фотодетекторов калориметра.

В мае 2016г. проведен тестовый сеанс в ЦЕРНе. Были проведены исследования отклика калориметра на протонном и мюонном пучках после проведенной модернизации и выполнена энергетическая калибровка модулей калориметра, проверена долговременная стабильность системы охлаждения фотодетекторов.

Исследование свойств сжатой барионной материи на установке CBM в GSI

В первом полугодии 2016г. проведена работа по подготовке к сборке модулей адронного калориметра установки CBM в соответствии с контрактом ФАИР – ИЯИ. Разработана техническая документация на изготовление модулей. Изготовлены и протестированы все необходимые комплектующие компоненты модулей калориметра. Ведется подготовка к сборке модулей в ИЯИ РАН. Разрабатываются методы калибровки калориметра на пучке протонов.

Прецизионное исследование электромагнитных взаимодействий нуклонов и ядер; исследование свойств адронов в ядерной среде, изучение их связанных состояний (мезонные ядра, дельта-ядра, гиперядра)

В рамках международной программы по исследованию спиновой структуры нуклона получены новые данные по асимметриям и спин-зависимым сечениям для процессов фоторождения π^0 и η - мезонов и комптоновского рассеяния фотонов на нуклонах [1-4]. Эксперименты выполнены на ускорителе MAMI (Майнц, Германия) на пучке меченых фотонов с энергией до 1445 МэВ. Новизна работы обеспечена использованием поляризованных ядерных мишеней и поляризованного гамма пучка. Российскими учеными впервые разработана и успешно применена активная поляризованная мишень с высокой эффективностью и низким порогом регистрации протонов, что позволило получить модельно независимые данные о спиновой поляризуемости протона. Получены также новые данные о вкладах различных нуклонных резонансов в указанные реакции. В частности, показано, что в сечении реакции фоторождения η -мезонов на квазисвободных нуклонах наблюдается узкий резонанс, который проявляется только при анти – параллельной ориентации спина

продольно поляризованного фотона и спина нуклона. Это означает, что наблюдаемая структура связана с возбуждением нуклонных резонансов $N1/2^-$ (S_{11}) и $N1/2^+$ (P_{11}).



Рис.1 Один из модулей активной поляризованной мишени, изготовленных российской группой коллаборации A2 (МAMI, Германия).

Публикации:

1. J.R.M. Annand, G.M. Gurevich, R. Kondratiev, V. Lisin, A. Mushkarenkov, A. Polonski et al. T and F asymmetries in π^0 photoproduction on the proton. Phys. Rev. C 93, No. 5, 055209 (2016).
2. L. Witthauer, G.M. Gurevich, R. Kondratiev, V. Lisin, A. Mushkarenkov, A. Polonski et al. New insight in the nature of the narrow structure in η -photoproduction on the neutron from the helicity dependence of the production process. Phys. Rev. Let. (in print).
3. G.M. Gurevich, V.P. Lisin. Measurement of the proton spin polarizabilities at MAMI. ЭЧАЯ (в печати).
4. Г.М. Гуревич. Исследование спиновой структуры протона на ускорителе МAMI. Международная сессия-конференция секции ядерной физики ОФН РАН. Дубна, 12-15 апреля 2016 г.

Радиоизотопные исследования

1. Изучение процесса наработки стронция-82 на ускорителе

В рамках соглашения О НАУЧНОМ СОТРУДНИЧЕСТВЕ МЕЖДУ ФЕДЕРАЛЬНЫМ ГОСУДАРСТВЕННЫМ БЮДЖЕТНЫМ УЧРЕЖДЕНИЕМ НАУКИ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН (ИЯИ РАН), КОМПАНИЕЙ NUCLEAR MEDICINE SOLUTIONS, Inc. (NMS) с участием Лос-Аламосской национальной лаборатории (тема соглашения: Исследования с радиоизотопами для научных и медицинских целей, номер соглашения: NMS 160125, от 35 января 2016 г.) проведены работы, включающие в себя исследования в процессе облучения мишеней на ускорителе ИЯИ РАН, отправку двух облученных мишеней с образовавшейся

активностью стронция-82 (калибровка 22 апреля 2016 г.) в Лос-Аламосскую национальную лабораторию.

Стронций-82 – важнейший медицинский изотоп, который используют для приготовления генераторов рубидия-82 и диагностики кардиологических заболеваний с помощью позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ).

В результате проведенных исследований оптимизирован выход стронция-82 в мишени из металлического рубидия.

В рамках Соглашения К 12-10-15 с фирмой Zevacor Molecular от 10 декабря 2015 г. разработана и испытана новая конструкция мишени металлического рубидия для облучения на циклотроне с энергией 70 МэВ высокой интенсивности и получения стронция-82.

2. Модернизация генератора рубидия-82 и изучение режимов его эксплуатации

В рамках действовавшего научного соглашения между ИЯИ РАН и ARRONAX GIP от 9 февраля 2009 г. и заключенного в мае 2016 г. нового соглашения между ИЯИ РАН и NAOGEN, а также Соглашения о сотрудничестве продолжали работы по разработке новой улучшенной конструкции генератора для увеличения его рабочей емкости. Рабочая емкость генератора – это общий объем элюата (радиодиагностическое средства на основе рубидия-82) из генератора, характеризующая его производительность. Цель работы – повышение надежности генератора (уменьшение вероятности нежелательного попадания изотопов стронция в кровеносную систему пациента при проведении диагностической процедуры) и увеличение общего количества пациентов, которые могут быть обследованы с помощью одного генератора рубидия-82 при диагностике кардиологических и онкологических заболеваний методом позитронной эмиссионной томографии (ПЭТ).

Цель данного исследования состояла в определении объема элюата, когда «проскок» стронция в нем достигает уровня, при котором необходимо усиливать контроль качества элюата («Alert Limit»), а также в определении объема элюата, когда величина «проскока» стронция достигает максимального допустимого значения, и когда необходимо прекращать эксплуатацию генератора («Expiration Limit»). Таким образом, характеризовалась производительность генератора.

Были изготовлены пять колонок, отличающиеся размерами трубки генераторной колонки (внутренний диаметр и длина) (Рис. 1), а значит и величиной ионообменной ёмкости размещаемого в ней сорбента (гидратированный оксид олова (IV) α -оловянная кислота).



Рис. 1. Внешний вид колонок (сверху – старая конструкция, внизу – новая конструкция).

Начальная активность стронция-82 во всех колонках составляла $\sim 0,13$ мКи. Режим элюирования – постоянный со скоростью 5 мл/мин. На *Рис. 2* изображена зависимость «проскока» стронция-82 для колонок с различным объемом. Результаты определяют объем элюата, при котором достигается «Alert Limit» и «Expiration Limit». Они позволяют модифицировать конструкцию генератора и резко улучшить его характеристики.

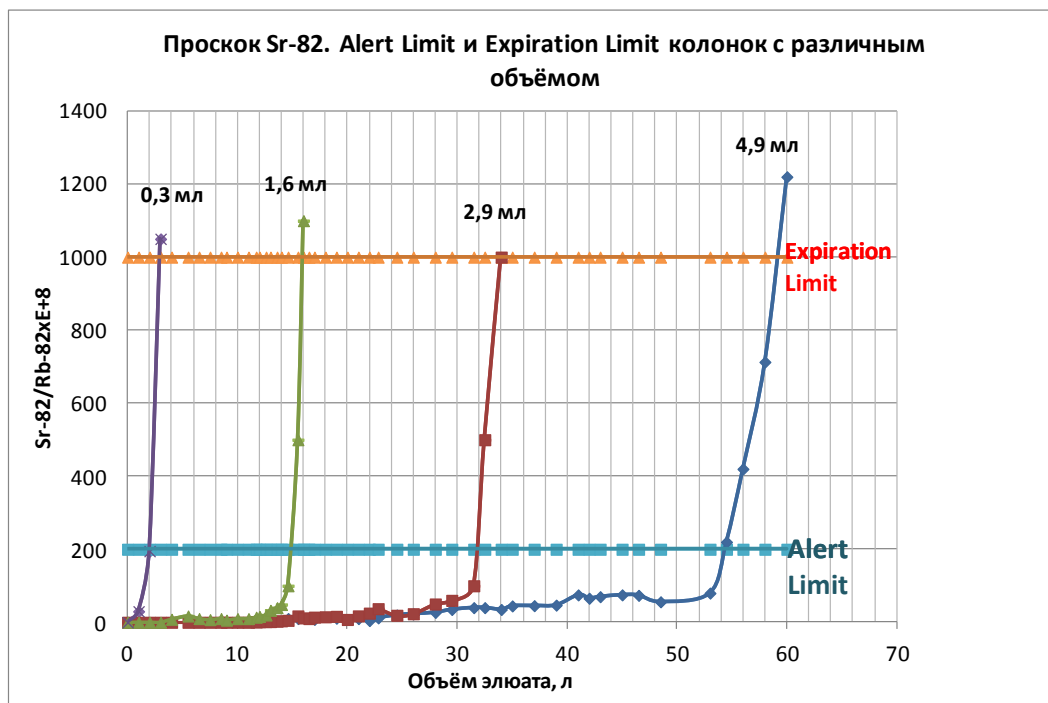


Рис. 2. «Проскок» стронция-82 при длительном элюировании в генераторных колонках с различным внутренним объемом.

4. Разработка технологии получения протактиния-230 для терапии онкологических заболеваний

Протактиний-230 (период полураспада 18,7 дн.) и его дочерний радионуклид торий-226 (31 мин.) являются перспективными альфа-эмиттерами для терапии онкологических заболеваний, и могут производиться на ускорителе ИЯИ РАН при облучении природного тория протонами средних энергий. Для химического выделения протактиния из облученной мишени и его хроматографического отделения от других продуктов необходимо определения коэффициентов удерживания на различных перспективных сорбентах.

В данной работе определены коэффициенты удерживания пентавалентного протактиния экстракционно-хроматографическими сорбентами TRU Resin, TEVA Resin, DGA Resin, UTEVA Resin и Octanol Resin (Triskem Int.) в статических условиях для широкого диапазона концентраций азотной и соляной кислот. Полученные значения коэффициентов удерживания для первых двух сорбентов хорошо согласуются с литературными данными, а для последних трех – получены впервые.

На *рис.3* показаны полученные результаты для солянокислых растворов. Ионы протактиния проявляют высокое сродство к сорбентам в обеих кислотах при их концентрациях более 5 М. При этом максимальные значения коэффициентов удерживания получены для сорбентов TRU и DGA Resin при сорбции из раствора соляной кислоты и составляют более 10^5 свободных колоночных объемов. Этот

результат может быть использован в схемах разделения протактиния и других трансурановых элементов.

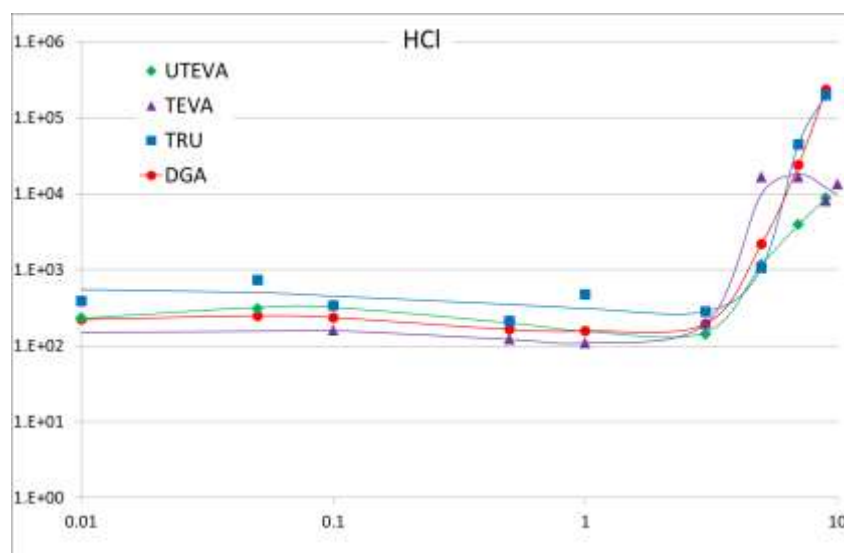


Рис. 3. Коэффициенты удерживания Pa(V) сорбентами UTEVA Resin, TRU Resin, DGA Resin из солянокислых растворов.

Проведение важнейших рабочих совещаний

1. *Место проведения:* Осло, Норвегия.

Время проведения: 29-30 апреля 2016.

Участники совещания: от NRSystems – Guy Stratton; ARRONAX и NAOGEN – Francois Chatal- научный руководитель; от Norsk Medisink Syklotron Senter – Thor Audun Saga, Норвегия; от Hevesy Laboratoriet, Denmark Tekniske Universitet, DTU Nutech Center of Nukleare Teknologier – Alex David Giskov, от ИЯИ РАН – Б.Л. Жуйков.

Тема совещания: Организация производства генератора рубидия-82 в компании Naogen на базе разработок ИЯИ РАН и его распространение в странах Северной Европы.

2. *Место проведения:* РНЦРХТ, С-Петербург.

Время проведения: 29-30 мая 2016.

Участники совещания: от РНЦРХТ – А.А. Станжевский, зам. Директора, С.В. Шатик – зав. Отделением радиофармацевтики, Н.К. Костеников – зав. отделением ПЭТ; от ИЯИ РАН – Б.Л. Жуйков.

Тема совещания: Направления сотрудничества между ИЯИ РАН и РНЦРХТ, сроки начала регулярного производства генератора рубидия-82 в России, заключение нового соглашения между РНЦРХТ и ИЯИ РАН.

3. *Место проведения:* п/о «Луч», Подольск.

Время проведения: 14 июня 2016.

Участники совещания: от РНЦРХТ – А.А. Станжевский, зам. Директора, С.В. Шатик – зав. Отделением радиофармацевтики, Н.К. Костеников – зав. отделением ПЭТ; от ИЯИ РАН – Б.Л. Жуйков.

Тема совещания: Ход выполнения договора по изготовлению литиевого окна и перспективы сотрудничества в вопросе о производстве актиния-225 из ториевой мишени.

Публикации. Статьи

1. Б.Л. Жуйков. Успехи и проблемы получения медицинских радиоизотопов в России. Успехи физических наук. 2016, т. 186, №5, с. 544-549.

2. Б.Л. Жуйков. Инновации в медицинские радиоизотопы: куда идем? 22 марта 2016 года. Троицкий Вариант. № 200, с. 6

3. Б.Л. Жуйков. Открытие элементов 113, 115, 117 и 118: что это дает? 28 июня 2016 года. Троицкий Вариант. № 207, с. 1-2.

4. A.N.Vasiliev, V.S. Ostapenko, E.V.Lapshina, S.V.Ermolaev, S.S. Danilov, B.L. Zhuikov, S. N. Kalmykov. Recovery of Ra-223 from natural thorium irradiated by protons. Radiochimica Acta, 2016, DOI: 10.1515/ract-2015-2549.

5. Ostapenko V., Sinenko I., Arefyeva E., Lapshina E., Ermolaev S., Zhuikov B., Kalmykov S. Evaluation of Pa(V) sorption on extraction chromatographic resins from nitric and hydrochloric solutions. // J RadioanalNucl Chem. 2016. Направлено в печать.

6. A.N. Vasiliev, A.V. Severin, E.V. Lapshina, E. Chernykh, S.V. Ermolaev, S.N. Kalmykov. Hydroxyapatiteparticles as carriersfor²²³Ra.// J RadioanalNucl Chem. 2016. Направлено в печать.

Доклады на конференциях

1. V.S. Ostapenko, A.N. Vasiliev, E.V. Lapshina, S.V. Ermolaev, B.L. Zhuikov, S.N. Kalmykov. Separation of ²³⁰Pa from radionuclides generated in natural thorium irradiated by protons. 1stInternational Conference on Radioanalytical and Nuclear Chemistry «RANC-2016», Budapest, Hungary, April 10-15, 2016, Book of abstracts, p.137.

2. E.V. Lapshina, S.V. Ermolaev, B.L. Zhuikov, A.N. Vasiliev, V.S. Ostapenko, S.N. Kalmykov. Extraction chromatographic separation and concentration of alpha-emitting radionuclides and lanthanides. 1stInternational Conference on Radioanalytical and Nuclear Chemistry «RANC-2016», Budapest, Hungary, April 10-15, 2016, Book of abstracts, p.219.

3. A.N. Vasiliev, V.S. Ostapenko, E.V. Lapshina, A.V. Severin, S.V. Ermolaev, S.N. Kalmykov. Hydroxyapatiteparticles as carriersfor²²³Ra. 1stInternational Conference on Radioanalytical and Nuclear Chemistry «RANC-2016», Budapest, Hungary, April 10-15, 2016, Book of abstracts, p.213.

4. Б.Л. Жуйков. Новые технологии получения медицинских радиоизотопов на ускорителях протонов средних энергий. V Международная конференция-школа по химической технологии. Волгоград 16-20 мая 2016. Сборник тезисов докладов. Т. 2. Ред. В.В. Свистачева. Волгоград, 2016, Темплан, 2016. С. 390-392.

5. Б.Л. Жуйков. Производство медицинских радионуклидов в России. X Всероссийский конгресс лучевых диагностов и терапевтов «Радиология-2016», 24 - 26 мая 2016, Москва.

Защита диссертации:

А.Н. Васильев. Получение ²²⁵Ac и ²²³Ra из облученного протонами природного тория. Диссертация кандидата химических наук. МГУ им. М.В. Ломоносова, Институт Ядерных Исследований РАН. 12 мая 2016 г.

Внедрение в широкую медицинскую практику технологии лечения смесями благородных газов с кислородом.

Совместно с Больницей РАН в г.Троицке, медиками Екатеринбурга и заводом “Тюменские аэрозоли” разработана терапия микродозами смесей БГ с кислородом для лечения раненых, гипертонии, устранения стрессов, лечения депрессии, для активного долголетия пожилых, лечения наркоманов, лечения онкологических заболеваний, лечения импотенции, лечения инсультов, улучшения иммунитета.

Подготовлен препринт ИЯИ РАН под названием “Терапия микродозами смесей благородных газов с кислородом для активного долголетия”.

Налажено производство баллонов на заводе “Тюменские аэрозоли” со смесями (Ar, Kr, Xe)+ O₂ для снабжения широких слоев населения.

Исследование аномального электромагнетизма в углеродных конденсатах

- Подана заявка на грант EDF “Contactless Carbon Current Limiters”
- Отправлена заявка в ФИПС на патент РФ С.Г.Лебедев, В.Э.Янц. «Радиохимический детектор плотности потока быстрых нейтронов»
- Подготовлен материал для заявки на грант нацпроекта «Создание энергоэффективных интеллектуальных энергосетей на основе углеродных управляемых током коммутаторов – «умных рубильников»

В рамках экспертной деятельности в качестве федерального эксперта научно-технической сферы С.Г.Лебедевым проведена экспертиза перспектив развития 3-х направлений оборонного комплекса РФ. По результатам экспертизы составлены экспертные заключения, которые направлены в ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ.

Публикации

1. С.Г.Лебедев, В.Э.Янц. «Радиохимический детектор плотности потока быстрых нейтронов» заявка на патент РФ подана в ФИПС.
2. В.Э.Янц, С.Г.Лебедев, Н.М.Соболевский, «Геохронология и мониторинг космических лучей по накоплению космогенных изотопов ^{53}Mn , и ^{10}Be в земных породах» будет опубликована в журнале «Геохимия» в июне 2016 г.

Разработка технологии, получение опытных образцов и исследование особенностей электродинамики нанокристаллических композитов фононных резонаторов (НФР)

- В рамках работ по облучательному стенду на ускорителе ИЯИ РАН определено место установки, ее состав, проведены оценки температур, радиационной обстановки, активации, выбрана компоновка установки гашения пучка.
- В рамках работ по первому этапу создания облучательного стенда разработана конструкция ловушки пучка, проведены расчеты нейтронных и протонных потоков и активации электронной платы и ловушки пучка.
- С.Г.Лебедев включен в состав редколлегии журнала SciFed Nanotech Research Letters <http://scifed.com/nanotech-research-letters/editorial-board.php>

Нейтронографические исследования и развитие детекторов нейтронов на импульсных источниках нейтронов ИЯИ РАН

1. На импульсном источнике нейтронов "РАДЭКС" (апрель 2016г.) проведены тестовые измерения на макете времяпролётного дифрактометра с целью проверки новых сцинтилляционных детекторов нейтронов разработки СКС ЛНИ. Из полученных спектров видно, что данные детекторы по отношению сигнал/фон, разрешению и эффективности не уступают широко распространенным счетчикам, заполненным гелием-3 (см. рис. 1). В последние годы активно ведется поиск альтернативы этим счетчикам ввиду дефицита гелия-3. По результатам испытаний этих детекторов направлена статья в «Журнал технической физики».

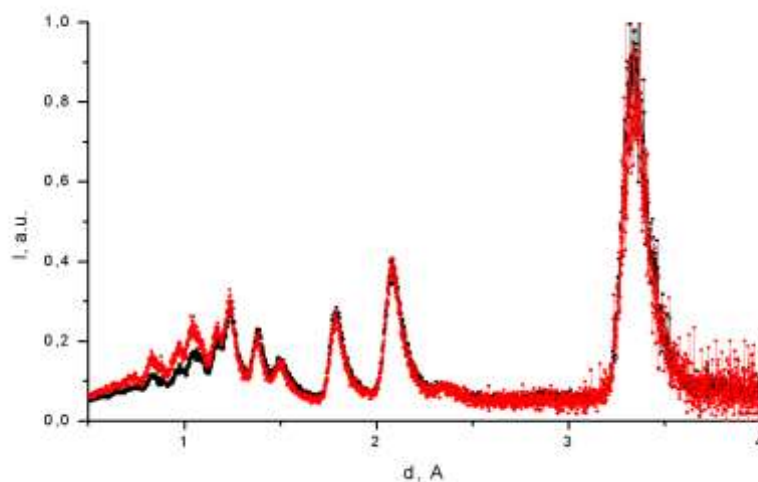


Рис.1. Сравнение дифрактограмм поликристаллического технического алмаза полученных на ZnS/LiF (красный) и ^3He (черный) – детекторах на импульсном источнике нейтронов «РАДЭКС».

2. На импульсном источнике нейтронов "ИН-06" на нейтронном рефлектометре-малоугловом спектрометре "Горизонт" с помощью нового 2-координатного позиционно-чувствительного газового монитора получены профили и спектры падающего на образец пучка нейтронов. Установлено, что благодаря изогнутому нейтроноводу, в пучке отсутствуют надкадмиевые нейтроны (см. рис. 2).

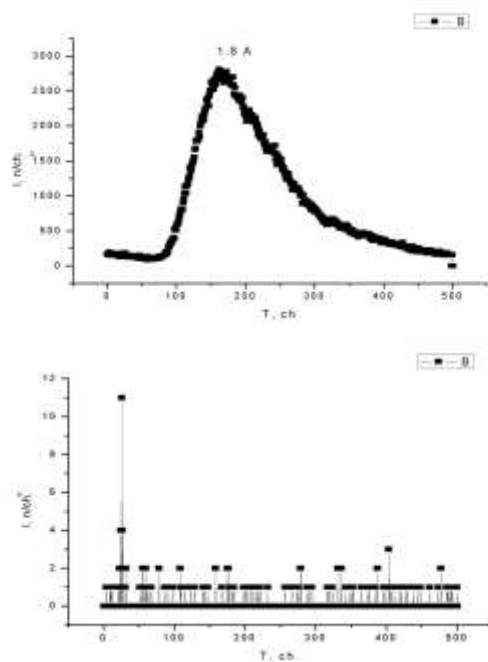


Рис.2. Спектр прямого пучка на выходе из нейтронного волновода (слева), и тот же спектр, но пучок перекрыт листовым кадмием (справа).

Профили нейтронных пучков измеренных нейтронночувствительными пластинами IP Fuji

3.1. В ходе апрельского 2016г. сеанса На импульсном источнике нейтронов "ИН-06" были исследованы профили нейтронных пучков установок "МНС", "Геркулес" и "Горизонт". Профили были сняты нейтронно-чувствительными пластинами IP Fuji. В дальнейшем результаты измерений будут сравнены с модельным расчетом нейтроннопроводов установок и сделан вывод о правильности установки.

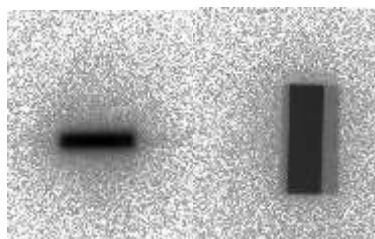


Рисунок 3.1. Профили падающего пучка "Горизонт" и "МНС"

3.2. В апрельском 2016г. сеансе были исследованы образцы различной твердости немагнитного сплава 40ХНЮ. В результате работы была выявлена зависимость межплоскостного расстояния от твердости и подробно исследован объемный фазовый состав серии образцов. Результаты работы найдут применение при оптимизации создания камер высокого давления для магнитных измерений и в оптимизации производства конструкционных немагнитных материалов.

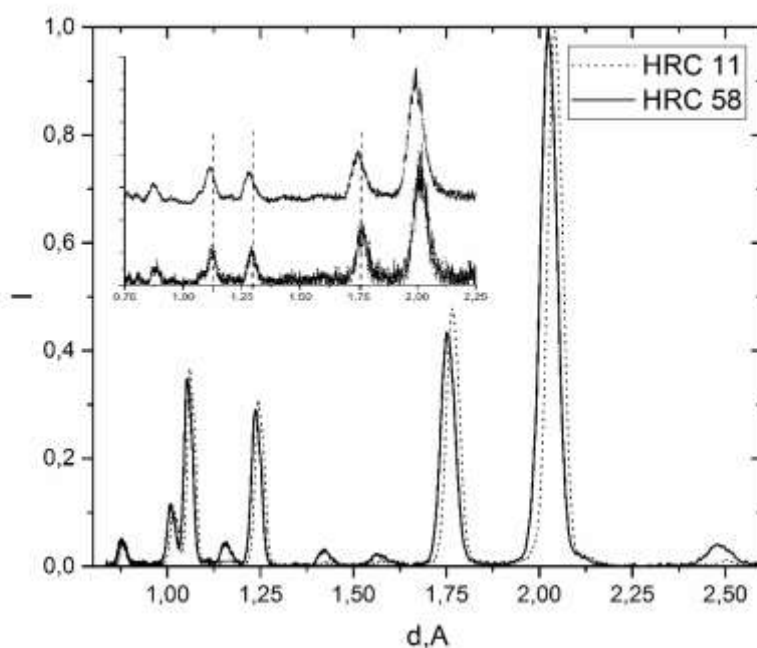


Рис.3.2. Сравнение дифрактограмм образцов с различной твердостью: обнаружено смещение пиков при появлении слабых пиков соответствующих образованию фазы Ni₃Al.

**Исследования конденсированных сред рентгеновскими, синхротронными,
оптическими и магнитными методами**

1) Проведены измерения NFS спектров от ядер Sn-119 в диапазоне давлений 0-150 ГПа, и температур 4.8-300 К и магнитных полей 0-1.5 Тесла в сероводороде (H_2S). Исследованы магнитные поля на ядрах Sn-119 в сверхпроводящем и нормальном состоянии H_2S . Показано, что в ZFC режиме охлаждения-нагрева магнитное поле на ядрах Sn-119 эффективно экранируется сероводородом H_2S вплоть до температуры ~ 145 К при давлении $P \sim 150$ ГПа. Что указывает на сверхпроводящее состояние II-го рода в сероводороде при этих P-T условиях. По результатам экспериментов опубликована статья в журнале **Science** [1].

2) В Рашба-полупроводниковом монокристалле BiTeCl были проведены измерения сопротивления, коэффициента Холла и спектров комбинационного рассеяния света при высоких давлениях до 50 ГПа. Мы считаем, что приложение давления, впервые индуцировало, теоретически предсказанное ранее, изолирующее состояние, а затем сверхпроводящую фазу с нормальным состоянием в форме диэлектрика. При сильном сжатии происходит переход в другую сверхпроводящую фазу, у которой нормальное состояние является металлическим. Барическая зависимость критической температуры сверхпроводящего перехода имеет форму купола. Одновременно наблюдается кроссовер от электронной к дырочной проводимости при пересечении фазовой границы между этими двумя сверхпроводящими фазами. Всё это указывают на то, что возможна реализация топологического состояния диэлектрической и сверхпроводящей фазы в этом материале. По результатам экспериментов опубликована статья в журнале **Phys. Rev. B (Rapid Communications)** [2].

3) Оптимально легированный купрат $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$ является идеальной модельной системой для изучения механизма сверхпроводимости, при приложении давления. При этом можно избежать сложных конкурирующих эффектов в недодопированном режиме и исследовать чистые внутренне присущие эффекты, а не вторичные эффекты, связанные с изменением концентрации носителей. Путем тщательного изучения спектров комбинационного рассеяния при высоких давлениях и низких температурах, мы наблюдали усиление двухмагнетонной моды и связали это с ростом на 10 К T_c (впервые была достигнута T_c более 100 К в этой системе) четко разграничивая эффект индуцированного давлением эффекта переноса заряда, который должен подавлять T_c . Наши тщательные эксперименты демонстрируют прямое и убедительное доказательство роли магнитных колебаний для спаривания носителей в купратных сверхпроводниках. Результаты доложены на **APS March Meeting 2016** [3].

Литература

[1]. **I. A. Troyan, A. G. Gavriliuk, R. Rüffer, A. Chumakov, A. A. Mironovich, I. S. Lyubutin, D. Perekalin, A. Drozdov, M. Eremets**, “Observation of superconductivity in hydrogen sulfide from nuclear resonant scattering”, *Science* **351**, 1303-1306 (2016).

[2]. Jian-Jun Ying, Viktor V. Struzhkin, Zi-Yu Cao, Alexander F. Goncharov, Ho-Kwang Mao, Fei Chen, Xian-Hui Chen, **Alexander G. Gavriliuk**, and Xiao-Jia Chen, “Realization of insulating state and superconductivity in the Rashba semiconductor BiTeCl ”, *Phys. Rev. B* **93**(rapid communications), 100504(R) (2016).

[3]. Chen, Xiao-Jia; Struzhkin, Viktor; Zhang, Jian-Bo; **Gavriliuk, Alexander**; Goncharov, Alexander; Mao, Ho-Kwang; Lin, Hai-Qing; Gu, Genda, “Elucidating the driving force of superconductivity increase in compressed optimally doped $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$ ”, *APS March Meeting 2016*, abstract #C25.004 (2016).

Исследование кристаллической структуры α -тетрагонального бора

Методами рентгеноструктурного анализа была исследована кристаллическая структура α -тетрагонального бора. Аллотропная модификация бора α -tB₅₀ была впервые синтезирована в 1958 году, и с тех пор велись споры о её существовании. Было показано, что в составе кристаллической структуры бора могут присутствовать атомы примесей, таких, как углерод, азот, металлы, которые и стабилизируют кристаллическую структуру тетрагонального бора, а в чистом виде такая структура не является энергетически выгодной. В 2011 году в ИФВД методом высокотемпературного синтеза (1100° С) при высоком давлении (9 GPa) из декаборана была синтезирована кристаллическая фаза бора B51.5 с тетрагональной структурой, свободная от вышеуказанных примесей. В 2016 году нами была опубликована работа [1], в которой показано, что фаза тетрагонального бора B51.5, полученная методом пиролиза декаборана, содержит водород (до 7 атомов на ячейку кристаллической решетки) и при ее отжиге при 900 К водород выделяется, кристаллическая решетка бора теряет тетрагональную симметрию и переходит в орторомбическую с параметрами решетки $a=8.894$ Å, $b=8.784$ Å, $c=5.019$, пространственной группой симметрии $R\bar{3}m$ (см. рис 1). Нами (с использованием на рентгеновских дифрактометрах ЛНИ) была установлена кристаллическая структура орторомбической фазы бора, а методами расчета электронной структуры с помощью теории функционала плотности было указано, в каких позициях должен находиться водород в кристаллической ячейке тетрагональной фазы. Работа была опубликована в специальном выпуске журнала The Journal of Materials Research, посвященном исследованиям бора.

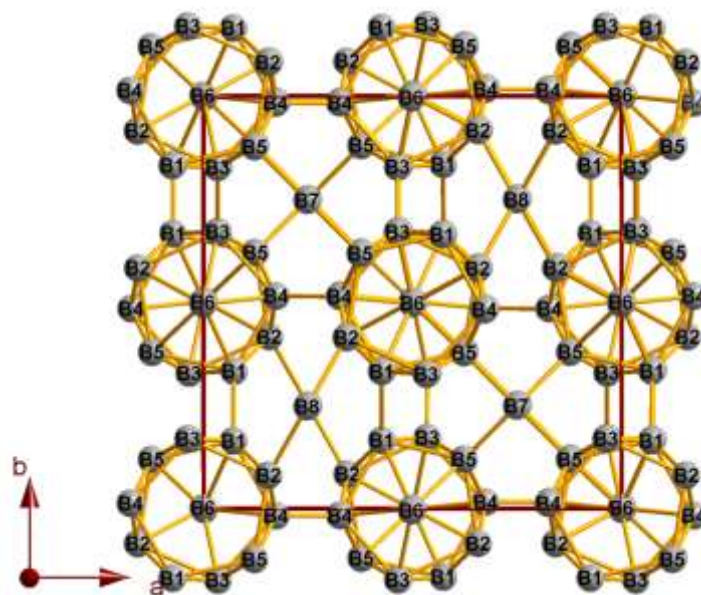


Рис. 1. Кристаллическая структура орторомбической фазы бора.

Публикация: J. Mater. Res., 2016, A new orthorhombic boron phase B51.5–52 obtained by dehydrogenation of “ α -tetragonal boron”, E. A. Ekimov, Y. B. Lebed, N. Uemura, K. Shirai, T. B. Shatalova, V. P. Sirotnikin.

Продолжены исследования веществ входящих в состав метеоритов и определяющих их магнитные свойства. Результаты опубликованы в:

Physics of the Earth and Planetary Interiors 257(2016)79-90. Magnetic characterization of non-ideal single-domain monoclinic pyrrhotite and its demagnetization under hydrostatic pressure up to 2 GPa with implications for impact demagnetization. Bezaeva N.S., Chareev D.A., Rochette P., Kars M., Gattacceca J., Feinberg J.M., Sadykov R.A., Kuzina D.M., Axenov S.N.