

Важнейшие достижения Института ядерных исследований Российской академии наук во 2 квартале 2015 года

Разработка теоретических проблем физики элементарных частиц, фундаментальных взаимодействий и космологии.

С.В. Троицким совместно с соавторами [34] рассмотрена феноменология гипотетических нейтральных калибровочных бозонов с недиагональным по ароматам взаимодействием с фермионами. Такие частицы естественным образом появляются в моделях с дополнительными пространственными измерениями, объясняющими иерархию масс и смешиваний кварков, заряженных лептонов и нейтрино. Получено общее соотношение между массами новых калибровочных бозонов и их константами взаимодействия с фермионами; для конкретных реализаций модели даны количественные оценки. В рамках соответствующей эффективной модели получена связь между скоростями редких распадов мезонов и параметрами, характеризующими возможность наблюдения таких бозонов на Большом адронном коллайдере.

В работе [35] В.А. Рубакова и М.В. Либанова было показано, что сценарий (псевдо-)конформной Вселенной может быть реализован в результате распада конформно инвариантного метастабильного вакуума, который протекает за счёт спонтанного образования и последующего роста пузыря новой фазы. Были изучены возмущения такого пузыря и показано, что их ведущее поведение при поздних временах совпадает со свойствами возмущений, которые возникают в предложенной ранее модели с однородным скатывающимся полем. В частности, возмущения спектаторного поля нулевой размерности имеют плоский спектр мощности.

Э.Я. Нугаевым и А.Г. Паниным (совместно с коллегами из НИЯФ МГУ И.Е. Гуламовым, М.Н. Смоляковым) были численно изучены решения для заряженных конфигураций с калибровочной $U(1)$ -инвариантностью в области зарядов, где не работает теория возмущений по константе связи. Было получено несколько неожиданных результатов. Во-первых, вся ветка решений, соответствующая Q -облакам в теории с глобальной симметрией, описывает решения с конечным зарядом. Это поведение принципиально отличается от случая с глобальной симметрией, где заряд конфигурации стремится к бесконечности при стремлении частоты стационарного решения к массе скалярного возмущения в свободной теории. Во-вторых, существует нижний предел для частоты решений, соответствующих стабильной ветке Q -шаров в глобальном случае. Для проверки численных результатов были использованы полученные ранее формулы, связывающие интегральные характеристики решений [36].

Проанализирована чувствительность нейтринного телескопа Байкал-ГВД к нейтринному сигналу от аннигиляции или распадов частиц тёмной материи в центре нашей Галактики. Для минимальной конфигурации из 12 кластеров за 1 год наблюдения получены ожидаемые ограничения на скорость аннигиляции частиц тёмной материи и её время жизни для нескольких каналов аннигиляции/распада. Полученная чувствительность сравнима с существующими пределами других нейтринных телескопов. По результатам работы опубликована статья [37].

Проанализированы результаты вычислений трёхпетлевых поправок КХД к статическому потенциалу, характеризующему взаимодействие двух тяжёлых кварков и входящего в определение их масс. Впервые получено 4х-петлевое выражение для РГ бета-функции в V -схеме, определяющейся вкладами теории возмущений в статический потенциал. Отмечено, что коэффициенты бета-функции в данной схеме являются калибровочно-независимыми и найденные 4х-петлевые коэффициенты имеют меньшее значение по сравнению с широко используемой в последнее время калибровочно-

зависимой схемой «минимальных» вычитаний при ненулевом евклидовом импульсе что более предпочтительно с точки зрения использования этой схемы при сравнении теоретических предсказаний с экспериментальными данными. Найдено, что в случае квантовой электродинамики выражения для ренормгрупповой 4х-петлевой бета-функции в V-схеме отличается от 4х-петлевого выражения для фундаментальной функции Гелл-Мана-Лоу лишь дополнительным вкладом в кубичный по числу лептонов 4х-петлевой поправки, что может служить аргументом в пользу теоретической выделенности КХД варианта бета-функции при экспериментальных данных. Результаты опубликованы [38].

Кратко описан развиваемый метод beta-разложения для представления коэффициентов рядов теории возмущений измеряемых величин и на 3х-петлевом уровне обсуждён способ пересуммирования коэффициентов ренормгрупповой бета-функции, являющихся элементами этого разложения. Показано, что корректная запись данного разложения и пересуммирование зависящих от коэффициентов бета-функции членов в теории сильных взаимодействий с группой $U(N_c)$ приводит к возникновению связей между остаточными непересуммированными вкладами в коэффициенты характеристики электрон-позитронной аннигиляции в адроны и правило сумм глубоконеупругого лептон-нуклонного рассеяния, вытекающих из свойства конформной симметрии, выполняющегося в ряде калибровочных суперсимметричных теорий Янга-Миллса [39].

Рассмотрена проблема натуральности для трёх различных способов описания эволюции скалярной массы [40]. Для первого способа (Susskind, 1979) возникает то, что обычно называется проблемой натуральности. Для второго способа (схема минимальных вычитаний, Macfarlane & Collins, 1974) проблема натуральности не возникает. Для третьего способа (схема Геллманна-Лоу, Pivovarov, 2010) проблема натуральности может либо возникать, либо отсутствовать в зависимости от рассматриваемой модели. При этом, возникающая в третьем случае проблема натуральности «мягкая», что приводит к значительному увеличению «шкалы новой физики» по сравнению с общепринятым подходом.

Построено обобщение схемы Геллманна-Лоу на общий случай локальной, Лоренц-инвариантной, перенормируемой теории.

Рассмотрен пример перенормируемой модели с нелинейным соотношением между константами связи. Видимо, это первый пример такого рода после неабелевых калибровочных теорий.

Поиск массы электронного антинейтрино: исследование систематических эффектов.

Завершено исследование вклада начальных состояний молекулы трития на ширину ровибрационной полосы в спектре конечных состояний дочернего молекулярного иона. Проведено исследование влияния последних расчётов спектра конечных состояний на определяемую величину квадрата массы нейтрино.

Исследуются возможности регистрации электронов бета-распада трития с помощью микропиксельного лавинного фотодиода производства Zecotek Photonics Inc, Дубна: создан канал управления и регистрации для изучения влияния напряжения смещения на работу диода и получены амплитудные характеристики отклика фотодиода; создаётся канал регистрации для исследования временных характеристик сигнала фотодиода.

Поиск тяжёлых нейтрино в бета-распаде газообразного трития в области масс, которая недоступна в осцилляционных экспериментах: от десятков электронвольт до 8-10 кэВ.

Продолжена работа по модернизации установки и подготовке к физическим измерениям: произведён ремонт двух гидравлических клапанов отсечения жидкого азота в криогенных ловушках в парортутных насосах; закончено оснащение газового контура термодатчиками с использованием новой системы контроля; выполнен ремонт сосуда-испарителя жидкого азота в системе вакуумной откачки контура; проведён полный запуск в холостом режиме всего замкнутого газового контура; изготовлен и испытан на вакуумную герметичность новый патрон-хранилище изотопов водорода; восстановлена вакуумная изоляция в сосуда-танке для хранения жидкого азота; проведён ремонт безмасляного турбо-молекулярного насоса; разработан и изготовлен поворотный электромагнит для испытательного вакуумного стенда; начаты испытания детектора на основе лавинных фотодиодов для регистрации электронов с энергией ниже 20 кэВ; проведена модернизация отдельных частей электронной пушки; получены первые спектры электронов разных энергий при испытании новых типов детекторов на основе лавинных фотодиодов; написано программное обеспечение для модернизированной системы записи экспериментальных данных; продолжена обработка экспериментальных данных, полученных в ходе последнего сеанса измерений в декабре 2014 г; подготовлена и послана в печать статья с описанием программы и экспериментальной базы готовящегося эксперимента по поиску тяжёлой компоненты нейтрино в бета-распаде трития.

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

Проведены новые измерения, с помощью космических мюонов, энергетического разрешения кристалла LYSO с лавинными фотодиодами (APD 10x10мм² Hamamatsu) для калориметра международного эксперимента Mu2e (FNAL, США). Измеренное энергетическое разрешение кристалла улучшено на 38% и составляет величину равную 0.13%/√E в области энергий до 30 МэВ.

Поиск тёмной материи Вселенной

Создана камера, заполняемая смесью неон плюс 10% водорода с системой детектирования GEM +pin-anode, получен энергетический порог регистрации порядка нескольких эВ, что позволяет осуществить поиск частиц тёмной материи с массой менее 0.5 ГэВ. Результаты посланы в виде статьи в американский астрофизический журнал.

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

Проведено теоретическое изучение инклюзивной реакции (γ , η') на ядре ниобия при энергии первичных фотонов 1.3-2.6 ГэВ в рамках разработанной современной физической модели данной реакции. Выполнены расчёты сечения этой реакции в кинематических условиях эксперимента, проведенного коллаборацией CBELSA/TAPS (Германия) на ускорителе ELSA в различных сценариях модификации свойств (массы) эта-штрих мезонов в ядерной среде и в различных предположениях о зависимости падающего потока фотонов от их энергии. Сравнение результатов этих расчётов с получаемыми параллельно в настоящее время экспериментальными данными для ядра ниобия позволит подтвердить или скорректировать (consistency check) сделанный в

предыдущей работе коллаборации (M. Nanova, V. Metag, E. Ya. Paryev et al., Phys. Lett. B 727 (2013) 417) вывод о величине сдвига массы η' мезонов в ядерной среде.

По результатам изучения эксклюзивной реакции (γ , η' p) в кинематических условиях эксперимента, также выполненного коллаборацией CBELSA/TAPS на ускорителе ELSA, была написана и опубликована соответствующая статья [3]. По результатам научного сотрудничества с коллаборацией ANKE (Юлих, Германия) были написаны и опубликованы работы [4, 5].

Изучение роли собственной энергии в переходах нейтрон-антинейтрон. Обобщение на ab переходы в поглощающей среде.

Опубликована статья [6].

Статистическая модель образования каонов, гиперонов и гиперядер в аннигиляции антипротона на ядрах

Закончен и направлен в печать препринт, в котором описывается элементарный акт для моделирования антинуклон-нуклонного взаимодействия с рождением каонов и гиперонов в области энергий до 4-5 ГэВ.

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

Проведена плановая подготовка одного из детекторов - дрейфовых камер - центрального спектрометра установки. Полугодовой сеанс измерений был успешно завершён 23 июня. Подготовлено две статьи с результатами измерений на установке RHENIX.

Свойства барионов и ядер в топологических солитонных и иных моделях.

Совместно с НИИЯФ МГУ и Университетом Санта Мария (Вальпараисо, Чили) проведены расчёты спектров ядерных состояний с квантовыми числами странность (-2, -3...) и очарование (прелесть). Показано, что при включении энергии возбуждения флейворов (странности, очарования и/или прелести) уменьшение размера всего солитона существенно понижает энергию состояний.

Монография [7] издана издательством Scholars' Press

Исследование аномального электромагнетизма в углеродных конденсатах. Разработка технологии, получение опытных образцов и исследование особенностей электродинамики нанокристаллических композитов фононных резонаторов (НФР).

Подготовлены две статьи [8,9] и подана заявка на патент [10].

Исследование осцилляций реакторных нейтрино в российских и зарубежных экспериментах.

С первого квартала 2015 г. Double Chooz ведет измерения одновременно двумя детекторами - ближним и дальним. Сотрудники ИЯИ во втором квартале принимали участие в удалённом мониторинге обоих детекторов.

Проведены переговоры по участию ИЯИ в эксперименте JUNO совместно с китайскими коллегами.

Проблема геофизических нейтрино. Обоснование создания большого сцинтилляционного детектора в БНО ИЯИ РАН.

Проведена научно-организационная работа для образования коллаборации в Баксанской нейтринной обсерватории для создания большого сцинтилляционного детектора.

Продолжались работы по измерению содержания ^{14}C в жидком сцинтилляторе при помощи детектора малого объёма. Измерено содержание ^{14}C в сцинтилляторе на основе ЛАБа, который предполагается использовать в будущем детекторе. Получена величина отношения содержания изотопов $^{14}\text{C}/^{12}\text{C} = 7 \times 10^{-17}$. Начато измерение нового образца сцинтиллятора, в котором предполагается меньшее содержание ^{14}C .

Международный эксперимент Герда.

Разработан цифровой фильтр для выделения событий, соответствующих безнейтринному двойному бета-распаду ^{76}Ge в эксперименте Герда. Все результаты первой фазы эксперимента были обработаны с помощью созданного фильтра. Получено улучшение энергетического разрешения на 0,3 кэВ. Это дало возможность сузить область поиска искомых событий на 10%. По полученным результатам подготовлена публикация в журнале Eur. J. Phys. C

Исследование ядро–ядерных столкновений на установке ALICE на встречных пучках ускорителя LHC (CERN).

В рамках участия ИЯИ РАН в международном сотрудничестве по программе физических исследований в эксперименте ALICE (CERN, LHC) проведён тестовый сеанс на пучке релятивистских частиц ускорителя PS для исследования рабочих характеристик прототипа новой детекторной системы Фронтального интеллектуального триггера (FIT), разрабатываемого в ИЯИ РАН для модернизации установки ALICE в 2017-2018 гг.

Принята в печать статья А.Б. Курепина, Н.С.Топильской "Quarkonium production and proposal of the new experiments on fixed target at the LHC" для специального выпуска «Physics at a Fixed Target Experiment Using the LHC beams» журнала Advances in Nuclear Physics.

Мультифрагментация и синтез тяжёлых трансурановых элементов.

Совместно с физиками из Франции (IN2P3) и Италии (INFN и университеты) была опубликована работа [11] в которой представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований процессов поглощения фотонов промежуточных энергий 700 -- 1500 МэВ ядрами углерода, которые приводят к множественному образованию фрагментов ядра-мишени. Было найдено, что в среднем образование восьми фрагментов наблюдается один раз на 100 событий разрушения ядра, а полное расщепление ядра на двенадцать нуклонов происходит в среднем один раз на 2000 событий. Результаты измерений, выполненных с помощью детектора LAGRANgE в широком диапазоне углов вылета фрагментов, хорошо описываются моделью фотоядерных реакций RELDIS и Статистической Моделью Мультифрагментации, разработанными в ИЯИ РАН в сотрудничестве с другими институтами.

Возможность синтеза нейтронно-избыточных сверхтяжёлых элементов в облучаемых пучками протонов и дейтронов мишенях, содержащих трансурановые элементы америций-241 и америций-243 была рассмотрена в работе [12], опубликованной в результате многолетнего сотрудничества ИЯИ РАН с Институтом перспективных исследований (FIAS) Университета Франкфурта-на-Майне. Изотопы

америция в избыточных количествах содержатся в отработанном ядерном топливе, поэтому задача их выжигания путём деления в ADS-системах (ускоритель, нейтронопроизводящая мишень, размножающий blanket) представляется весьма актуальной и широко обсуждается в научной литературе. В работе [12] впервые была рассмотрена другая сторона работы таких систем. В определённых конфигурациях компактных ADS-систем интенсивный поток нейтронов может приводить к многократному захвату нейтронов ядрами мишени и их дочерними ядрами. В результате последующих бета-распадов количество протонов в таких ядрах растёт. Вычисления с помощью созданного авторами статьи кода MCADS+NuCoD на основе Geant4 показали, что в таких мишенях при длительном облучении на протяжении месяцев могут накапливаться в макроскопических количествах тяжёлые трансурановые элементы вплоть до берклия-249. После выделения таких элементов их количество может быть достаточным для изготовления мишеней для последующего облучения пучками ядер с целью получения в реакциях слияния новых, пока ещё не открытых, трансурановых элементов.

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

Получены первые результаты анализа азимутальной анизотропии потоков каонов для реакции Au+Au при энергии налетающих ядер золота 1.23 ГэВ на нуклон в лабораторной системе. Продолжаются работы по модернизации модулей электромагнитного калориметра на основе свинцового стекла.

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

Проведён сеанс по исследованию выходов частиц в столкновениях ядер аргона с ядрами скандия при энергиях налетающих ядер аргона 13, 20, 30, 40, 75 и 150 АГэВ. В этом сеансе группа ИЯИ принимала участие в сменах и обеспечивала контроль параметров переднего адронного калориметра, который используется в эксперименте для определения центральности взаимодействий. В течение сеанса обеспечивался контроль за работой системы питания, системы охлаждения, стабилизации и контроля температуры 440 фотодиодов калориметра, системы контроля стабильности усилителей фотодиодов и системы считывания информации с калориметра в общую систему считывания установки.

Исследование свойств сжатой барионной материи на установке CBM в GSI.

Ведутся работы по подготовке стенда в ИЯИ РАН для измерения отклика модулей адронного калориметра, которые будут изготавливаться в ИЯИ, с системой сбора данных на основе TRB3. Программное обеспечение для системы сбора данных на основе TRB3 и электроники PADIWA для считывания сигналов с фотодетекторов модулей калориметра установлено на персональный компьютер в ИЯИ РАН и протестировано.

Исследование коллективных эффектов и не нуклонных степеней свободы в ядрах, переходных процессах в сжатой ядерной материи при столкновениях протонов и тяжёлых ионов с ядрами.

Подготовлен и представлен Технический проект переднего калориметра ZDC для установки MPD на сооружаемом коллайдере NICA. Детектор ZDC разработан по технологии, предложенной Лабораторией релятивистской ядерной физики ИЯИ РАН, и будет создан в рамках сотрудничества с группой ЛФВЭ ОИЯИ.

Исследование поляризационных наблюдаемых в фоторождении мезонов на ускорителе МАМІ С.

Коллаборацией А2 на ускорителе МАМІ С выполнены измерения асимметрий комптоновского рассеяния на протоне в области энергий Δ -резонанса с использованием пучка циркулярно/линейно поляризованных фотонов и продольно/поперечно поляризованной протонной мишени, созданной сотрудниками ОИЯИ и ИЯИ РАН. Из данных измерений впервые получены экспериментальные значения всех четырех спиновых поляризуемостей протона, которые описывают реакцию спина протона на воздействие налетающего поляризованного фотона [19, 20].

Выполнены измерения эффективности регистрации нейтронов с энергией до 400 МэВ в кристаллах NaI детектора Crystal Ball. Данные об эффективности получены из исследования фоторождения π^0 -мезонов на дейтериевой мишени с использованием пучка энергетически меченых фотонов от ускорителя МАМІ [21].

На ускорителе МАМІ С выполнены измерения дифференциальных сечений фоторождения ω -мезонов на протоне при энергиях налетающих фотонов от порога реакции $\gamma p \rightarrow \omega p$ до 1400 МэВ в пределах полного углового диапазона. Высокое качество данных вблизи порога открывает доступ к ряду интересных физических аспектов процесса. В частности, получена оценка длины ωN -рассеяния [22].

Получены первые данные по мишенной асимметрии и асимметрии пучок-мишень для реакции $\gamma p \rightarrow \pi^0 p$ при энергиях фотонов от 1050 до 1450 МэВ. Измерения выполнены на ускорителе МАМІ С с использованием детектора Crystal-Ball/TAPS и протонной поляризованной мишени. Полученные данные подтверждают предположение о доминировании в этой реакции амплитуды $\Delta_{3/2^-}$. Результаты чувствительны к небольшим вкладам от других парциальных волн [23].

Исследование реакций множественного рождения мезонов на протоне, дейтроне и углероде по материалам коллаборации ГРААЛЬ.

Исследованы реакции множественного рождения мезонов и мультифрагментации ядер углерода, а также полные сечения фотопоглощения под действием фотонов с энергией 700 – 1500 МэВ. Измерена вероятность вылета нуклонов различной множественности вплоть до полного развала ядра углерода на отдельные нуклоны. Полученные данные интерпретированы в рамках теоретической модели RELDIS [24-26].

Подготовка эксперимента BGO-OD (Bonn – ELSA) по исследованию фотоядерных реакций в области энергий фотонов до 4 ГэВ.

Проведена сборка и наладка основных элементов детектора BGO-OD. Выполнены пучковые испытания на ускорителе ELSA (Бонн, Германия) в совместном эксперименте [27].

Исследование свойств гигантских резонансов в ядрах.

Для описания тормозного излучения электронов предложено приближённое аналитическое представление на основе известных ранее спектров Шиффа и Зельцера и Бергера. На основе этого представления проанализированы отличия параметров E_1 гигантского резонанса, получаемых при обработке экспериментальных данных, в зависимости от формы структур в сечениях исследуемых реакций и типа мониторингирования пучков [28, 29].

С помощью γ -активационной методики на тормозном пучке фотонов с максимальной энергией 55 МэВ исследовано фоторасщепление изотопов титана в области гигантского дипольного резонанса. Определены выходы и интегральные

сечения фотопротонных реакций на изотопах 47, 48, 49, 50Ti. Результаты эксперимента сравниваются с расчётами по программе TALYS и комбинированной модели фотонуклонных реакций. Показано, что программа TALYS, не учитывающая изоспиновую структуру ГДР, не позволяет описать выход фотопротонных реакций на тяжёлых изотопах титана 49, 50Ti [30,31].

Разработка методики получения и использования короткоживущих изотопов на электронных ускорителях.

Уточнены данные по сечениям реакций $^{14}\text{N}(\gamma, 2n)^{12}\text{N}$, $^{14}\text{N}(\gamma, 2p)^{12}\text{B}$, $^{13}\text{C}(\gamma, p)^{12}\text{B}$, используемых в разрабатываемом фотоядерном методе обнаружения скрытых взрывчатых веществ, на основе компиляция известных экспериментальных и модельно-расчётных данных с использованием программ TALYS и EMPIRE. С помощью программ GEANT-4 и MCNP проведено моделирование экспериментов по эмиссии γ -квантов, электронов и позитронов при распадах радиоизотопов ^{12}N и ^{12}B , образующихся в результате указанных реакций [32]. Предложен проект экспериментального определения выходов реакций $^{14}\text{N}(\gamma, 2n)^{12}\text{N}$ и $^{14}\text{N}(\gamma, 2p)^{12}\text{B}$ при $E_\gamma \sim 50$ МэВ в сопоставлении с выходом фоновой реакции $^{13}\text{C}(\gamma, p)^{12}\text{B}$ [33].

Физика и техника сильноточных ускорителей на средние и промежуточные энергии.

Исследована возможность использования мощного высокочастотного усилительного триода ГИ-71А в качестве мощной модуляторной лампы вместо ГМИ-44А. Важность этой работы обусловлена тем, что лампа ГМИ-44А снята с производства без замены и ее отсутствие неминуемо приведет к остановке ускорителя. Выполненный комплекс работ позволил начать испытания лампы. Достигнуты в целом обнадеживающие результаты, однако пока полученная в ускоряющих резонаторах высокочастотная мощность ниже номинальной.

Продолжено выполнение НИР по договору с ЦЕРН, Швейцария по теме «Разработка, изготовление, лабораторные испытания, поставка и наладка измерителя продольного распределения заряда в сгустках для канала транспортировки из ускорителя Linac-4 в бустер». Закончены сборка и наладка, а также лабораторные испытания с участием представителя заказчика. Измеритель подготовлен к отправке в ЦЕРН.

Ведется изготовление оборудования 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)».

Завершено выполнение НИР по договору с ФБГУ ГНЦ ИФВЭ по теме «Разработка технического проекта модернизации источника ионов водорода в каскаде ускорителей ЛУ-30 и У-1.5». При выполнении НИР разработана структурная схема источника, функциональные схемы систем питания и управления, принципиальные схемы генератора тока разряда, блока питания газового клапана, блока контроля подачи цезия, блока контроля температуры корпуса, генераторов вытягивающего напряжения 25 кВ и ускоряющего напряжения 100 кВ. Проведены расчеты ионно-оптической системы вытягивания и ускорения до 100 кэВ и ионно-оптической системы согласования пучка с входом начальной части ускорителя, разработаны и изготовлены макеты генератора тока разряда и блока питания газового клапана, определены

технические требования к характеристикам и параметрам системы диагностики пучка ионов в канале согласования пучка, разработан чертеж общего вида источника.

Завершено выполнение НИР по договору с ОИЯИ по теме «Создание опытных образцов оборудования диагностики пучка для LEVT ЛУ-20 и NILAS комплекса NICA ОИЯИ». Изготовлены компоненты, произведены сборка, юстировка, вакуумные испытания и доставка диагностических узлов заказчику.

Продолжено выполнение НИР по договору с ОИЯИ по теме «Разработка и изготовление опытных образцов масс-спектрометра атомарного пучка и блоков питания импульсного генератора плазмы для источника поляризованных ионов водорода и дейтерия». Проведены испытания опытных образцов масс-спектрометра атомарного пучка и блоков питания импульсного генератора плазмы на стенде в ИЯИ РАН, созданные приборы переданы ОИЯИ. Продолжена работа по разработке и изготовлению опытного образца высокостабильного импульсного генератора высоковольтных импульсов 25 кВ, 400 мкс, 1Гц со стабильностью напряжения по вершине импульса не хуже 0.5%.

Продолжено выполнение НИР по договору с DESY по теме «Исследование, разработка и запуск электродинамических систем стенда фотоинжектора для исследования формирования сгустков электронов сверхвысокой яркости».

Радиоизотопные исследования.

Изучение процесса наработки стронция-82 на ускорителе ИЯИ РАН.

В рамках соглашения о научном сотрудничестве между с компанией Nuclear medicine solutions, Inc. (NMS) с участием Лос-Аламосской национальной лаборатории проведены облучения мишеней на ускорителе ИЯИ РАН, отправку двух облученных мишеней с образовавшейся активностью стронция-82 в Лос-Аламосскую национальную лабораторию. При этом подтверждено, что при быстром сканировании пучка (с частотой 4,8 кГц) увеличение тока не приводит к снижению выхода. Но смещение по оси даже на доли мм оказывает существенное влияние, что является результатом неравномерного по оси рассеяния пучка в данной сложной геометрии мишени.

Изучение процесса по прямому извлечению стронция-82 методом сорбции из жидкого рубидия из реальных мишеней, облучённых в ИЯИ РАН.

В рамках Соглашения о научном сотрудничестве между ИЯИ РАН и ARRONAX GIP по внедрению технологии ИЯИ РАН выполнены следующие работы:

- облучены две мишени металлического рубидия ($1300 \mu\text{A}\cdot\text{h}$, 100 мкА и $750 \mu\text{A}\cdot\text{h}$, 150 мкА).

- Первая мишень была переработана в горячих камерах ARRONAX при непосредственном участии сотрудников ИЯИ РАН по методу, разработанному ИЯИ РАН. Активность полученного продукта ^{82}Sr соответствует расчётному значению. Продукт был очищен по методике, одобренной FDA. Большая часть ^{82}Sr отправлена в Los Alamos National Laboratory (USA) в качестве пробного образца для сертификации регулярных поставок. Меньшая часть ^{82}Sr использована для зарядки Sr/Rb-82 генераторов по методике ИЯИ РАН. Начата переработка второй мишени.

- Продолжены работы по оптимизации стадии нейтрализации металлического рубидия после выделения из него стронция-82 в условиях горячей камеры.

Модернизация генератора рубидия-82 и изучение режимов его эксплуатации.

В рамках действующего научного соглашения между ИЯИ РАН и ARRONAX GIP были собраны две генераторные колонки, которые использовали для изготовления двух генераторов: с активностью по стронцию-82 0.1 мКи и 11 мКи.

В ходе изготовления генератора с низкой активностью (0.1 мКи) было проведено обучение персонала ARRONAX GIP методике сборки генераторной колонки и зарядки генератора стронцием-82, проведены два рабочих семинара.

Генератор с активностью 0.1 мКи – российский вариант генератора в защитном свинцовом контейнере (ГР-02). Зарядку генератора проводили в вытяжном шкафу с ламинарным потоком и дополнительной радиационной защитой.

Второй генератор с активностью 11 мКи – с колонкой российской конструкции в контейнере LEMER PAX (Франция), изготовленном согласно европейским стандартам. Этот генератор был заряжен в горячей камере в строгом соответствии требованиям радиационной безопасности, действующим на территории Франции. Определено оптимальное расположения компонентов установки для зарядки генератора в ограниченном пространстве горячей камеры.

Начато испытание основных параметров обоих изготовленных генераторов.

Разработка технологии получения актиния-225 и радия-223 для терапии онкологических заболеваний.

В рамках выполнения договора с кафедрой радиохимии МГУ им. Ломоносова по разработке методики выделения актиния-225 и других радионуклидов из мишеней тория-232, облучённых протонами средних энергий, а также разработке генератора висмута -213 проведены следующие работы:

- Проведены эксперименты по ре-экстракции проактиния-230 из органической фазы, полученной при экстракции облучённого тория ди-2ЭГФК, растворами щавелевой кислоты различной концентрации. Этот способ оказался предпочтительнее выделения проактиния-230 из исходного раствора облученного тория экстракцией метилизобутилкетона с последующей ре-экстракцией растворами $\text{H}_2\text{SO}_4 - \text{HF}$.

- Продолжены эксперименты по отделению дочернего урана-230 от проактиния-230 и изготовлению генератора $^{230}\text{U}/^{226}\text{Th}$ на экстракционно-хроматографической смоле TEVA (Triskem).

- Проведены эксперименты с лабораторным генератором $^{225}\text{Ac}/^{221}\text{Fr}/^{213}\text{Bi}$. Изучена эффективность отделения ^{213}Bi через промежуточный ^{221}Fr и последующего концентрирования ^{213}Bi с помощью катионообменной смолы Dowex 50x8 и экстракционно-хроматографических смол Sr Resin, AMP-PAN и KNiFC-PAN (TrisKem). Изучена сорбция ^{213}Bi на поверхности кварца, политетрафторэтилена, силикона, полиэтилена.

- Продолжены эксперименты по инкорпорированию радия-223 в частицы гидроксиапатита различного размера. Методом автордиографии изучена диффузия ионов радия в матрицу частиц гидроксиапатита.

- Приготовлен $^{140}\text{Ba}/^{140}\text{La}$ генератор на экстракционно-хроматографической смоле Sr Resin (Triskem). В течение месяца проводили регулярные элюирования генератора, эффективность вымывания ^{140}La составляла 80-90%. Общий объём элюента, пропущенного до наступления проскока ^{140}Ba , составил около двух литров. Полученный ^{140}La может быть использован в экспериментах по мечению в качестве химического аналога ^{225}Ac .

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

Показано, что аргоновая терапия помогает заживлять раны в 3 раза быстрее и без гнояных осложнений. Технология внедряется в госпиталь МВД в Екатеринбурге.

Публикации

1. K. Afanciev, ... R. Djilkibaev et al. "Response of LYSO:Ce Scintillation Crystals to Low Energy Gamma-Rays", Physics of Particles and Nuclei Letters, Vol. 12, No. 2, pp. 319–324 2015.
2. R. Djilkibaev, O.Karavichev, V. Postoev "LYSO scintillator studies for a fast low-energy calorimeter" JINST 10, P03019, 2015.
3. E. Ya. Paryev. Study of in-medium η' properties in the $(\gamma, \eta'p)$ reaction on nuclei. J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. (in press); arXiv: 1503.09007 [nucl-th] (2015).
4. E. Ya. Paryev, M. Hartmann and Yu. T. Kiselev. Non-resonant kaon pair production and medium effects in proton-nucleus collisions. J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. 42 (2015) 075107; arXiv: 1505.01992 [nucl-th] (2015).
5. Yu. T. Kiselev, M. Hartmann, A. Polyanskiy, E. Ya. Paryev et al. Kaon pair production in proton-nucleus collisions. Phys. Rev. C. (in press).
6. V.I. Nazaruk arXiv:1408.3295 v3 [nucl-th] 28 Apr 2015 «Models with non-Hermitian Hamiltonian and optical theorem».
7. Vladimir Kopeliovich, Galina Matushko «'Buddha's light' of cumulative particles (nuclear glory phenomenon)» издана издательством Scholars' Press, OmniScriptum GmbH & Co. KG (Heinrich-Böcking-Str. 6-8, 66121, Saarbrücken, Germany), 60 стр., ISBN: 978-3-639-76496-3, <https://www.ljubljudknigi.ru/store/gb/book/buddha-s-light-of-cumulative-particles/isbn/978-3-639-76496-3>
8. С.Г.Лебедев, Н.И.Андрианов, С.П.Юркевичус. «БЕСКОНТАКТНЫЙ УГЛЕРОДНЫЙ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬ – ОГРАНИЧИТЕЛЬ ТОКА КАК ЭЛЕМЕНТ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ СЕТЯМИ И ИХ ЗАЩИТЫ В ТЕХНОЛОГИИ SMART GRID» статья в сборнике "Инноватика и экспертиза" ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, 2015 г.
9. 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» принято к публикации в журнал «Геохимия» 2015 г.
10. Подана заявка на патент РФ С.Г.Лебедев, В.Э.Янц. «ТЕРМОМЕТР ТЕРМОЯДЕРНОЙ ПЛАЗМЫ И СПОСОБ ЕГО РЕАЛИЗАЦИИ», 2015 г.
11. Disintegration of C-12 nuclei by 700—1500 MeV photons, V.Nedorezov,... A.Mushkarenkov, I.Pshenichnov, et al. Nuclear Physics A 940 (2015) 264-278
12. Synthesis of neutron-rich transuranic nuclei in fissile spallation targets, I. Mishustin, Y. Malyshev, I. Pshenichnov, W. Greiner, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 349 (2015) 133–140
13. Subthreshold Ξ^- Production in Collisions of $p(3.5 \text{ GeV})+\text{Nb}$, HADES Collaboration (G. Agakishiev,...M.Golubeva, F.Guber, A.Ivashkin, T.Karavicheva, A.Kurepin, A.Reshetin, A.Sadovsky... et al. Phys.Rev.Lett. 114 (2015) 21, 212301
14. Investigating hadronic resonances in pp interactions with HADES. HADES Collaboration (Witold Przygoda,...M.Golubeva, F.Guber, A.Ivashkin, T.Karavicheva, A.Kurepin, A.Reshetin, A.Sadovsky... et al.).EPJ Web Conf. 97 (2015) 00024.
15. Highlights of Resonance Measurements With HADES. HADES Collaboration (Eliane Eppe,...M.Golubeva, F.Guber, A.Ivashkin, T.Karavicheva, A.Kurepin, A.Reshetin, A.Sadovsky... et al.).EPJ Web Conf. 97 (2015) 00015.
16. $K^*(892)^+$ production in proton-proton collisions at $E_{\text{beam}}=3.5 \text{ GeV}$. HADES Collaboration (G. Agakishiev,...M.Golubeva, F.Guber, A.Ivashkin, T.Karavicheva, A.Kurepin, A.Reshetin, A.Sadovsky... et al.). e-Print: arXiv:1505.06184 [nucl-ex]
17. Verification of Electromagnetic Calorimeter Concept for the HADES spectrometer. O. Svoboda (Rez, Nucl. Phys. Inst.), C. Blume (Frankfurt U.), W. Czyżycki (Cracow Tech. U.), E. Eppe, L. Fabbietti (Munich, Tech. U., Universe), T. Galatyuk (Darmstadt, Tech.

Hochsch.), M. Golubeva, F. Guber (Moscow, INR), S. Hlaváč (Bratislava, Inst. Phys.), A. Ivashkin (Moscow, INR) et al.. Phys.Conf.Ser. 599 (2015) 1, 012026

18. NA61 collaboration meeting, 25 – 29 May 2015, Paris, France: PSD upgrade, Fedor Guber, Alexander Ivashkin; PSD calibration for Ar beam data 2015, Marina Golubeva, Sergey Morozov

19. P.P.Martel, G.Gurevich, R Kondratiev, V.Lisin, A.Mushkarenkov, A.Polonski et al. Measurements of Double-Polarized Compton Scattering Asymmetries and Extraction of the Proton Spin Polarizabilities. Phys. Rev. Lett. 114, 112501 (2015) .

20. Г.М.Гуревич. Измерение спиновых поляризуемостей протона. Восьмые Черенковские чтения. Москва, ФИАН, 14.04.2015.

21. M.Martemianov, G.Gurevich, R Kondratiev, V.Lisin, A.Mushkarenkov, A.Polonski et al. A new measurement of the neutron detection efficiency for the NaI Crystal Ball detector. Journal of Instrumentation JINST, 10, T04001 (2015). arXiv: 1502.07317v1[physics.ins-det] 25 Feb 2015.

22. I.I.Strakovsky, R Kondratiev, V.Lisin, A.Mushkarenkov, A.Polonski et al. Photoproduction of the ω meson on the proton near threshold. Phys. Rew. C 91, 045207 (2015).

23. J.R.M.Annand, G.Gurevich, R Kondratiev, V.Lisin, A.Mushkarenkov, A.Polonski et al. First measurement of target and beam-target asymmetries in the $\gamma p \rightarrow \pi^0 np$ reaction. Phys. Rew. C 91, 055208 (2015).

24. V.Nedorezov. Multifragmentation of nuclei: new experimental approaches and results ,Published in PoS BaldinISHEPPXXII (2015) 042.

25. I. Pshenichnov, V. Nedorezov, A Turinge, Multifragment break-up of 12-C in photonuclear reactions: a theorist's point of view ,Published in PoS BaldinISHEPPXXII (2015) 046

26. V.Nedorezov e.a. (GRAAL collaboration) , Disintegration of 12 C nuclei by 700–1500 MeV photons , Nucl.Phys. A940 (2015) 264-278

27. B. Bantes, .. V.Nedorezov e.a. (BGO-OD collaboration) The BGO Calorimeter of BGO-OD Experiment. J.Phys.Conf.Ser. 587 (2015) 1, 012042

28. Л.З. Джилавыян. Экспериментальные параметры изовекторного E1 гигантского резонанса в зависимости от корректности учета спектров тормозных фотонов , Извести РАН., сер.физ., 2015, том 79, № 4, с. 581–586.

29. L. Z. Dzhilavyan. Experimental Parameters of the Isovector E1 Giant Resonance, Depending on the Correctness of Bremsstrahlung Photon Spectra Calculations. Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Physics, 2015, Vol. 79, No. 4, pp. 537–542.

30. С.С. Бельшев, Л.З. Джилавыян, Б.С. Ишханов, И.М. Капитонов, А.А. Кузнецов, В.Н. Орлин, К.А. Стопани. Фотоядерные реакции на изотопах титана. Ядерная физика, 2015, том 78, №3-4, с. 246–255.

31.S.S. Belyshev, L.Z. Dzhilavyan, B.S. Ishkhanov, I.M. Kapitonov, A.A. Kuznetsov, V.N. Orlin, and K.A. Stopani. Photonuclear Reactions on Titanium Isotopes. Physics of Atomic Nuclei, 2015, Vol. 78, No. 3-4, pp. 220–229.

32.О.И. Ачаковский, С.С. Бельшев, Л.З. Джилавыян, Ю.Н. Покотиловский. Схемка реакций $^{14}\text{N}(\gamma, 2n)^{12}\text{N}$, $^{14}\text{N}(\gamma, 2p)^{12}\text{B}$, $^{13}\text{C}(\gamma, p)^{12}\text{B}$ и эмиссия γ -квантов, электронов, позитронов их характерных мишеней при распадах ^{12}N и ^{12}B , образованных в этих мишенях. Препринт ИЯИ РАН 1399/2015, март 2015.

33. Л.З. Джилавыян. Проект измерений на ЛУ-50 выходов реакций $^{14}\text{N}(\gamma, 2n)^{12}\text{N}$ и $^{14}\text{N}(\gamma, 2p)^{12}\text{B}$. Препринт ИЯИ РАН 1400/2015, март 2015.

34. Jean-Marie Frère, Maxim Libanov, Simon Mollet, Sergey Troitsky / Flavour changing processes with Z' // e-Print: arXiv:1505.08017
35. M.Libanov and V.Rubakov, "Conformal Universe as false vacuum decay," Phys. Rev. D 91 (2015) 10, 103515
36. I. E. Gulamov, E. Ya. Nugaev, A. G. Panin, M. N. Smolyakov / On some properties of $U(1)$ gauged Q-balls // arXiv:1506.05786
37. A.D. Avrorin et al. (С.В. Демидов) / Sensitivity of Baikal-GVD neutrino telescope to neutrino emission toward the center of Galactic dark matter halo.//JETP Lett. 101 (2015) 5, 289-294
38. A.L.Kataev (INR RAS) and V.S. Molokoedov, (Moscow, MIPT) / The four-loop renormalization group QCD and QED β -functions in the $\overline{MS}$ -scheme and their analogy with the Gell-Mann--Low function in QED and QCD // arxiv:1504.06571
39. A. L. Kataev (INR RAS) and S. V. Mikhailov (JINR, Dubna) // β -expansion in QCD, its conformal symmetry limit: theory+applications // Nuc. Part. Phys. Proceedings 258-259 (2015) 45
40. Г.Б. Пивоваров / Alternative renormalization group for the standard model // 4th V.N. Gribov memorial workshop, 08-17 Июня, 2015 года, г.Черноголовка, ИТФ им. Л. Д. Ландау
41. А. С. Белов, В. Н. Зубец, Л. П. Нечаева, Е. С. Никулин, А.В. Турбабин, О. Т. Фролов, «Режим работы протонного инжектора линейного ускорителя ИЯИ РАН с частотой повторения импульсов 100 Гц», направлена в печать в ПТЭ.
42. V. Anastassopoulos, M. Arik, S. Aune, K. Barth, A. Belov et al. (CAST collaboration), "Search for chameleons with CAST", arXiv:1503.04561 [astro-ph.SR], 2015.
43. G. Consolati, S. Aghion, C. Amsler, A. Ariga, T. Ariga, A. Belov et al. (AEGIS collaboration), "Experiments with low-energy antimatter", EPJ Web of Conferences, 96, 01007 (2015).
44. Б. Жуйков. Новые факты в деле Литвиненко. Что показали измерения радиоактивности. Троицкий вариант–Наука, № 176 от 7 апреля 2015 года. с. 4-5.
45. E.V. Lapshina, S.V. Ermolaev, B.L. Zhuikov, A.N. Vasiliev, V.S. Ostapenko, R.A. Aliev, S.N. Kalmykov. α – Emitting radionuclides from natural thorium irradiated with protons. 9th Symposium on Targeted Alpha Therapy, Warsaw, Poland, May 19 - 21, 2015.
46. V.S. Ostapenko, A.N. Vasiliev, E.V. Lapshina, S.V. Ermolaev, B.L. Zhuikov, R.A. Aliev, S.N. Kalmykov. Extraction chromatographic behavior of actinium and REE. 9th Symposium on Targeted Alpha Therapy, Warsaw, Poland, May 19 - 21, 2015.
47. A.N. Vasiliev, V.S. Ostapenko, E.V. Lapshina, S.V. Ermolaev, B.L. Zhuikov, R.A. Aliev, S.N. Kalmykov. Evaluation of hydroxyapatite particles as carriers for ^{223}Ra recovered from proton-irradiated thorium. 9th Symposium on Targeted Alpha Therapy, Warsaw, Poland, May 19 - 21, 2015.