

Важнейшие достижения Института ядерных исследований Российской академии наук в 1 квартале 2017 года

Сотрудниками Института в первом квартале опубликовано более 100 научных статей в высокорейтинговых журналах и докладов на международных конференциях. Наиболее важные достижения перечислены ниже.

Эксперимент GERDA.

Одним из наиболее интригующих вопросов современной фундаментальной физики является вопрос, почему во Вселенной больше материи, чем антиматерии. Ответ может скрываться в понимании природы нейтрино: в одной из наиболее предпочтительных теоретических моделей эта частица идентична своей античастице, что делает возможным редчайший ядерный процесс, называемый двойным безнейтринным бета распадом атома. Важнейший шаг в деле поиска этого распада сделан в настоящее время экспериментом GERDA, с участием сотрудников Института, в котором достигнут наиболее низкий уровень радиоактивного фона по сравнению со всеми конкурирующими проектами. Статья, посвященная этому результату, опубликована в журнале Nature 6 апреля 2017 года (doi:10.138/nature21717).

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

В связи с усиливающимися ограничениями на модели низкоэнергетической суперсимметрии, всё больший интерес в последнее время вызывает возможность формирования тёмной материи из лёгких скалярных (аксионоподобных) частиц. Такая тёмная материя образуется в ранней Вселенной с помощью специального механизма, связанного с перестройкой вакуума, что приводит к ряду космологических и астрофизических особенностей. В частности, частицы этой тёмной материи рождаются с очень маленькими начальными скоростями, поэтому в результате дальнейшей эволюции они могут образовать компактные Бозе-звёзды - гравитационно связанные капельки аксионного Бозе-конденсата. Недавние численные симуляции показали, что Бозе-звёзды действительно формируются из сверхлёгкой тёмной материи ($m=10^{-22}\text{eV}$). Кроме того, было высказано предположение, что они могут образоваться даже в случае тёмной материи, состоящей из аксионов КХД. В данной работе впервые полностью исследовали коллапс аксионных Бозе-звёзд сверхкритической массы, вызванный притяжением аксионноподобных частиц. Во-первых, аксионноподобные частицы начинают падать на центр сверхкритической звезды. Во-вторых, столкновения частиц в центре звезды производят поток релятивистских аксионов, покидающих звезду и уносящих около 30% от ее первоначальной массы. Оставшаяся часть аксионов после этого конденсируется в Бозе-звезду подкритической массы.

Данное явление может существенно изменить предсказание ряда космологических моделей с аксионноподобной тёмной материей. Во-первых, коллапс уничтожает часть нерелятивистских частиц тёмной материи, а их энергию покоя конвертирует в кинетическую энергию испущенных аксионов. Это может изменить энергетический баланс во Вселенной и повлиять на образование галактик в случае, если существенная часть тёмной материи прошла через стадию образования Бозе-звёзд. Во-вторых, плотность аксионов в центре коллапсирующей звезды многократно увеличивается, что может, в принципе, привести к лавинному рождению радиофотонов или других наблюдаемых частиц.

D.G. Levkov, A.G. Panin, I.I. Tkachev "Relativistic axions from collapsing Bose stars", Phys.Rev.Lett. 118 (2017) 011301.

Рассмотрена классическая стабильность U(1)-калибровочных Q-шаров. Аналитически показано, что предположения, в которых был выведен критерий Вахитова-Колоколова, применимый для установления стабильности некалибровочных Q-шаров, не выполняются. Таким образом, этот критерий в общем случае неприменим для калибровочных Q-шаров, что было продемонстрировано численно на примере нескольких моделей.

A.G. Panin, M.N. Smolyakov, "Problem with classical stability of U(1) gauged Q-balls", Phys. Rev. D 95, no. 6, 065006

Q-balls", Phys. Rev. D 95, no. 6, 065006 (2017).

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

Впервые в мире выполнены измерения пучковой асимметрии $\Sigma 3$ комптоновского рассеяния на протоне ниже порога фоторождения пионов. Полученные результаты подтверждают предсказания моделей, основанных на теории возмущений и дисперсионных соотношениях, и существенно отличаются от борновского члена, в котором не учтены вклады скалярных поляризуемостей протона. Полученные результаты показывают, что измерение пучковой асимметрии ниже порога является альтернативным способом определения скалярных поляризуемостей по отношению к измерениям неполяризационного сечения комптоновского рассеяния. Эксперимент выполнен коллаборацией A2 на пучке поляризованных меченых фотонов ускорителя MAMI (Майнц).

V.Sokhoyan, G.M.Gurevich, R.Kondratiev, V.Lisin, A.Mushkarenkov, A.Polonski et al. Determination of the scalar polarizabilities of the proton using beam asymmetry $\Sigma 3$ in Compton scattering. Eur. Phys. J. A, v. 53, No. 2 (2017) 14.

Эксперимент ALICE "Поиск кварк – глюонной материи при столкновении ультрарелятивистских ядер"

Большое количество данных АЛИСЕ, доступных для физического анализа (анализ резонансов ϕ , $K^*(892)0$, Δ^{++} и $\Lambda(1520)$) основано на возможностях детекторов АЛИСЕ выполнять идентификацию частиц с использованием различных технологий. Идентификация заряженных частиц осуществляется комбинированным способом группой детекторов, которая включает в себя: систему внутреннего трекинга ITS, времяпроекционную камеру TPC, детектор переходного излучения TRD, времяпролётный детектор TOF совместно с детектором T0. Идентификация частиц в промежуточном интервале поперечного импульса (от 0.5 до 3-4 GeV/c) выполняется с использованием времяпролётной системы (T0F +T0). Важной компонентой этого анализа является точное определение момента столкновения пучков, которое определяется детектором T0, который входит в зону ответственности ИЯИ, и детектором TOF. В 2016 году проводились физические измерительные сеансы на пучках сталкивающихся протонов и столкновений протонов с ионами свинца. T0 детектор принимал участие во всех измерительных сеансах, проводимых экспериментом ALICE. Анализ данных показал, что T0 обеспечивал разрешение измерения момента столкновения от 25 до 50 пс для p-Pb столкновений. На рис.1 показано временное разрешение в зависимости от множественности событий (по количеству треков детектора TOF).

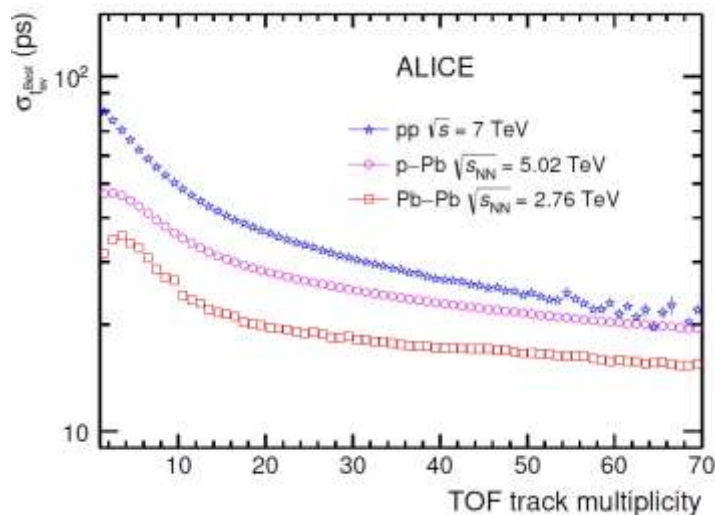


Рисунок 1. Зависимость временного разрешения определения момента столкновения пучков для pp, p-Pb и Pb-Pb взаимодействий.

Исследования показали, что текущая амплитудно-временная коррекция улучшает разрешение детектора T0 на 10%.

Результаты опубликованы в статье «Determination of the event collision time with the ALICE detector at the LHC» Eur. Phys. J. Plus 132 (2017) 99

В рамках программы модернизации детекторных систем установки АЛИСЕ на ЛНС создан прототип фронтального интеллектуального триггерного детектора (ФИТ), с целью применения его в будущих экспериментальных исследованиях кварк-глюонной материи на пучках ЛНС, после реконструкции коллайдера в 2017-2018 гг., когда его светимость будет увеличена более, чем в 10 раз. Создание детектирующей системы на основе второй версии модификации ФЭУ XR85012/A1-Qмод2 позволила уменьшить ширину системы на 10 мм. Это даёт возможность изменить конфигурацию детектора ФИТ-С от плоской до сферической для улучшения амплитудного разрешения детектора. Разработана конструкция детектора ФИТ-С и выполнена работа по его интеграции в ограниченное пространство установки АЛИСЕ (Рис.2).

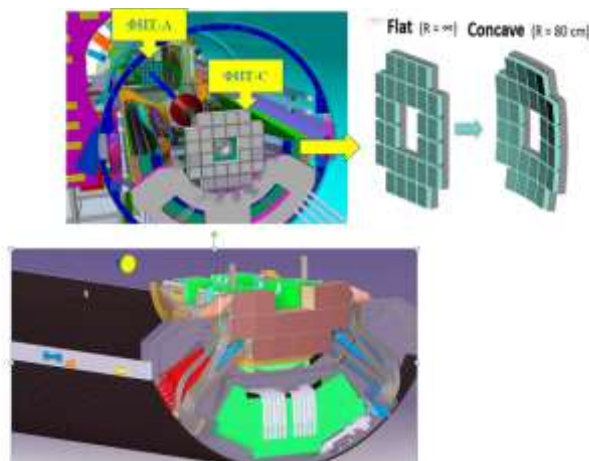


Рисунок 2. Схема расположения детекторов ФИТ-С и ФИТ-А и интеграция детектора ФИТ-С в установку АЛИСЕ.

Продолжена работа по эксперименту с фиксированной мишенью на пучках БАК AFTER. В эксперименте может использоваться изогнутый кристалл, отклоняющий пучок. Далее располагается фиксированная мишень, в качестве которой может служить тонкое проволочное кольцо, помещённое в гало основного пучка. Это может быть начальной стадией эксперимента, в которой можно использовать детектирующую систему существующей установки АЛИСА. Опубликовано статья “Heavy ion collisions in a fixed target mode at the LHC beams”. EPJ Web 138 (2017) 03009.

Линейный ускоритель ионов водорода.

В первом квартале 2017 года на сильноточном линейном ускорителе ИЯИ РАН проведено 2 сеанса и начат третий сеанс, который завершён во втором квартале. Все три сеанса направлены на разработку технологии получения радиоизотопов и наработку изотопов, на исследования формирования пучка на изотопном комплексе, а также на исследования и модернизацию ускорителя. Продолжительность работы ускорителя с пучком в первом квартале составила 832 часа. Нарботка ускорителя в двух сеансах, которые завершены в первом квартале, составила 49780 мкА·часов при среднем токе пучка до 120 мкА и энергии 143 МэВ.

Для подготовки сеансов был выполнен целый ряд необходимых работ: ремонт блоков питания магнитоэлектрических насосов, вакуумметров; травление деталей магнитоэлектрических насосов (азотная и плавиковые кислоты), сборка электродных блоков магнитоэлектрических насосов; разработка схемы питания нового форвакуумного поста для каналов транспортировки и инжектора Н-минус; поиск и устранение течей на каналах пучка экспериментального комплекса и в восьмом резонаторе основной части ускорителя и во втором резонаторе третьего сектора ускорителя; прокладка кабеля для постов предварительной откачки в каналах экспериментального комплекса; установка и снятие углеродной мишени на канале транспортировки протонов; замена шести магнитоэлектрических насосов на резонаторах ускорителя и блока управления турбомолекулярным насосом на 3 секторе ускорителя и др.

Продолжено научное сотрудничество между ИЯИ РАН и ОИЯИ по разработке, созданию и внедрению источников поляризованных частиц на ускорительном комплексе НУКЛОТРОН. В первом квартале на НУКЛОТРОНЕ с участием сотрудников отдела был проведен сеанс, в котором были выполнены эксперименты с ускоренным пучком поляризованных дейтронов, а также впервые ускорены поляризованные протоны.

Также по договору ОИЯИ, разработан эскизный проект дебанчера для комплекса NICA на основе резонатора split ring. В результате сравнения с другими типами резонаторов по физическим, технологическим и эксплуатационным параметрам разработанный резонатор рекомендуется для сооружения.

Продолжены исследования ускоряющих структур с целью замены (модернизации) первого резонатора основной части ускорителя. В частности, начаты исследования мостовых устройств связи в резонаторе и их адаптация для применения с другой обоснованно предлагаемой структурой CDS.

Продолжены работы по теме «Исследование, разработка и запуск электродинамических систем стенда фотоинжектора для исследования формирования сгустков электронов сверхвысокой яркости», выполняемой по соглашению с лабораторией ДЕЗИ, Цойтен, Германия. На изготовленном тестовом резонаторе проведены измерения ВЧ характеристик датчика контрольного сигнала. Завершается разработка конструкторско-технологической документации для изготовления усовершенствованного резонатора фотоинжектора.

Продолжены работы по теме «Разработка конструкции и ВЧ настройка резонатора дефлектора с минимизированным уровнем аббераций», выполняемой по соглашению с лабораторией ДЕЗИ, Гамбург, Германия. Проведены ВЧ измерения экспериментальных ячеек резонатора, откорректирована конструкторская документация.

Начаты работы по теме «Исследование стабильности источника электронов с высокой частотой посылок для исследовательской установки CLARA/VELA при медленном изменении параметров резонатора», выполняемой по соглашению с лабораторией STFC, Даресбури, Англия, завершён первый этап исследований и отчёт передан заказчику

Продолжено выполнение НИР по соглашению с комплексом FRIB Мичиганского университета, США по теме «Разработка, изготовление, поставка и наладка Измерителя Формы Сгустков для Комплекса пучков редких изотопов (FRIB) MSU». Проводятся лабораторные испытания изготовленного детектора.

Продолжено 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». Завершена разработка технического проекта, начато изготовление оборудования.

Публикации в первом квартале 2017 года

1. Paramonov. V., Phillip S., Rybakov I., Skassyrskaya A., Stephan F. “Development of the L-band normal conducting RF gun cavity for high peak and average RF power”. (3-я Международная конференция «Лазерные, плазменные исследования и технологии», 24-27 января 2017, Москва, НИЯУ МИФИ), <http://laplas/mephi.ru/LaPlas2017>

2. Рыбаков И.В., Парамонов В.В. “Методика контроля качества изготовления ускоряющей структуры”. (3-я Международная конференция «Лазерные, плазменные исследования и технологии», 24-27 января 2017, Москва, НИЯУ МИФИ, <http://laplas/mephi.ru/LaPlas2017>

3. V. Paramonov, S. Philipp, I. Rybakov, A. Skassyrskaya, F. Stephan. “Design of an L-band normally conducting RF gun cavity for high peak and average RF power”. (Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 854 (2017) 113–126)

4. А. С. Белов, С. Е. Голубовский, В. Н. Зубец, Е. С. Никулин, О. Т. Фролов, “Стабилизация параметров фазового портрета пучка ионов водорода”, (Приборы и техника эксперимента, 2017, № 2, с. 5–13).

Радиоизотопные исследования

1. Изучение процесса наработки стронция-82 на ускорителе

В рамках соглашения о научном сотрудничестве с компанией Nuclear medicine solutions с участием Лос-Аламосской национальной лаборатории проведены работы, включающие в себя исследования в процессе облучения мишеней на ускорителе ИЯИ РАН, отправку четырёх облучённых мишеней с образовавшейся активностью стронция-82 (калибровки 3 и 31 марта 2017 г.) в Лос-Аламосскую национальную лабораторию для радиохимической переработки и проведения исследований.

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

В результате проведённых исследований определён выход стронция-82 в мишени из металлического рубидия при облучении интенсивным пучком протонов с разными параметрами.

В результате завершения работ по соглашению с фирмой Zevacor Molecular налажено получение дефицитного изотопа стронция-82, что создает перспективы более

широкого использования генераторов рубидия-82 в кардиологических исследованиях с помощью ПЭТ в России и США. Заключено соглашение о продолжении работ для создания более эффективной мишенной станции с вертикальной загрузкой мишени.

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

В рамках действовавшего научного соглашения с ARRONAX GIP и соглашения с NAOGENE проведено изучение механизмов процессов, протекающих в сорбенте генератора рубидия-82 при клиническом применении. Сорбент приготавливают путём обработки исходного сухого гидратированного диоксида олова (IV) специальными растворами для получения сорбента с максимальной рабочей ёмкостью. Рабочая ёмкость сорбента (или генератора рубидия-82) – это общий объём элюата, т.е. радиофармпрепарата, который может быть получен за всё время эксплуатации генератора. В значительной мере это определяется способностью сорбента изменять pH контактирующей с ним жидкости от $4,5 \div 5,5$ до $6,0 \div 7,5$ в результате обработки его щелочными растворами. На основании полученных результатов предложена новая методика приготовления сорбента, которая позволит существенно увеличить рабочий объём генератора, а значит, повысить его безопасность при клиническом применении.

3. Разработка $^{225}\text{Ac}/^{213}\text{Bi}$ генератора для терапии онкологических заболеваний

В рамках выполнения договора, заключённого между ИЯИ РАН и Уральским федеральным университетом им. Б.Н. Ельцина проведены исследования условий разделения радиоизотопов актиния и висмута с помощью неорганических сорбентов Т-5 на основе гидратированного оксида титана и Т-39 на основе твёрдого раствора оксидов циркония и иттрия. Рассмотрены две генераторные схемы:

1) периодическая сорбция ^{213}Bi из раствора материнского ^{225}Ac на сорбенте Т-39 и последующая десорбция ^{213}Bi раствором, содержащим ионы, образующие с висмутом прочные комплексы (хлориды, йодиды);

2) сорбция материнского ^{225}Ac на сорбенте Т-5 и накопление ^{213}Bi через отделение и распад промежуточного короткоживущего дочернего радионуклида ^{221}Fr .

Для проверки предложенных генераторных схем была изготовлена экспериментальная мишень из металлического тория. Мишень была облучена 04.03.2017 на ускорителе ИЯИ РАН и отправлена на кафедру радиохимии МГУ им. Ломоносова, где были проведены работы по выделению из мишени ^{225}Ac и других альфа-излучающих радионуклидов (^{223}Ra и ^{230}Pa).

Публикации

1. V. Ostapenko, I. Sinenko, E. Arefyeva, E. Lapshina, S. Ermolaev, B. Zhuikov, S. Kalmykov. Evaluation of Pa(V) sorption on extraction chromatographic resins from nitric and hydrochloric solutions. J. Radioanal. Nucl. Chem., 2017, v. 311, issue 2, p. 1545-1550.

2. A.N. Vasiliev, A.V. Severin, E.V. Lapshina, E. Chernykh, S.V. Ermolaev, S.N. Kalmykov. Hydroxyapatite particles as carriers for ^{223}Ra . J. Radioanal. Nucl. Chem., 2017, v. 311, issue 2, p. 1503-1509.

Учёный секретарь ИЯИ РАН



А.Д.Селидовкин