

Важнейшие достижения Института ядерных исследований Российской академии наук в 3 квартале 2016 года

Разработка теоретических проблем физики элементарных частиц, фундаментальных взаимодействий и космологии

Д.Г.Левков, А.Г.Панин и И.И.Ткачёв изучили коллапс Бозе-звёзд сверхкритической массы. Подструктуры лёгкой бозонной (аксионоподобной) тёмной материи могут сконденсироваться в компактные Бозе-звёзды. Они показали, что центр коллапсирующей звезды излучает релятивистские аксионоподобные частицы, которые уносят около 30% от её первоначальной массы. Это явление может существенно изменить предсказания некоторых космологических моделей с аксионоподобной тёмной материей. D.G. Levkov, A.G. Panin, I.I. Tkachev / Relativistic axions from collapsing Bose stars // arXiv:1609.03611.

Э.Я. Нугаев с коллегами нашли решение нелинейных уравнений поля, описывающее провал плотности заряда в однородном устойчивом конденсате. Полученный солитон является нетопологическим, но, в отличие от Q-шаров, имеется решение с одним определенным зарядом. E. Nugaev, A. Shkerin, M. Smolyakov / Q-holes // arXiv:1609.05568

В BAIKAL колбараии (С.В. Демидов) проанализированы нейтринные данные Байкальского телескопа NT-200, набранные за 1998-2003 год с целью поиска нейтринного сигнала от аннигиляции частиц тёмной материи в центре Галактики. Анализ был выполнен с использованием двух разных методов: выбор оптимального конуса вокруг направления на центр Галактики и метод максимального правдоподобия. Оба метода дали согласующиеся в пределах ошибок результаты. Получены верхние пределы на сечения аннигиляции частиц тёмной материи для нескольких каналов аннигиляции: $b\bar{b}$, W^+W^- , $\tau^+\tau^-$, $\mu^+\mu^-$ и $\nu\bar{\nu}$. BAIKAL Collaboration (A.D. Avrorin (Moscow, INR) et al.) / A search for neutrino signal from dark matter annihilation in the center of the Milky Way with Baikal NT200 // Astropart.Phys. 81 (2016) 12-20

С.В. Демидов совместно с аспирантом Иваном Соболевым изучили нарушение лептонного числа в суперсимметричных моделях с низким масштабом нарушения суперсимметрии, содержащими лёгкую скалярную частицу - сголдстино. Константы связи этой частицы с фермионами Стандартной модели определяются постоянными, мягко нарушающими суперсимметрию, которые в общем случае нарушают флейвор в лептонном секторе. В работе показано, что смешивание сголдстино с легчайшим бозоном Хиггса приводит к изменению соответствующих констант связи и может приводить к распаду бозона Хиггса $h \rightarrow \mu\tau$, нарушающему лептонный флейвор. Изучены феноменологические следствия такого сценария. S.V. Demidov, I.V. Sobolev / Lepton flavor-violating decays of the Higgs boson from sgoldstino mixing // JHEP 1608 (2016) 030

Представлено детальное описание применения метода наименьших квадратов для определения численного значения двух коэффициентов (порядка n^0 и n^1 в поправке 4-го порядка в соотношении между полюсными и бегущими массами тяжёлых кварков исходя из трёх численных значений этой поправки (полученной на суперкомпьютере Ломоносов коллегами из НИИЯФ МГУ и Германии). В результате длительных дискуссий авторы этой хорошо известной работы выпустили препринт с детальными описаниями своих вычислений и объяснением метода фиксации численных ошибок вычислений для значений $n=0,1,\dots, 20$ и явно определили определение ранее методом наименьших квадратов численные значения двух извлечённых коэффициентов. Центральные значения численных компьютерных расчётов полностью подтверждают полученные численные результаты. При публикации работы А.Л. Катаевым и В.С.

Молокоедовым были предварительно рассмотрены влияние увеличения числа представленных вычисленных на суперкомпьютере численных результатов и их неопределённостей и получено что применение 19 дополнительных значений в методе наименьших квадратов приводит к существенному уменьшению неопределённостей величины поправки 4-го порядка КХД к соотношению между массами полюсной и бегущей массами лёгких кварков, и согласуется с определениями этих неопределённостей явно фиксированных из численных компьютерных вычислений. Сделан вывод о перспективности применения метода наименьших квадратов для оценок численных неопределённостей сложных времени-затратных численных компьютерных вычислений. A.L.Kataev and V.S. Molokoedov / On the flavour dependence of the $\mathcal{O}(\alpha_s^4)$ correction to the relation between running and pole heavy quark masses // Eur. Phys. J. Plus 131 (2016) no.8, 271

Опубликованы результаты работы А.Л. Катаева по выводу нового представления КХД рядов теории возмущений функции характеристик электрон-позитронной аннигиляции в адроны и правила сумм глубокоэластичного лептон-нуклонного рассеяния лептонов на поляризованной мишени, представляющих из себя двойное разложение по степеням аксиальной аномалии и константе связи КХД. При этом впервые параметры коэффициенты подобного разложения получены в аналитическом виде в 4-м порядке КХД без привлечения дополнительных допущений, связанных с суперсимметрией частиц, применявшихся в других работах с целью получения аналогов данных результатов в третьем порядке теории возмущений. Обсуждаются следствия полученных представлений для проведения феноменологически направленных исследований. G.Cvetič and A.L.Kataev / Adler function and Bjorken polarized sum rule: Perturbation expansions in powers of the $SU(N_c)$ conformal anomaly and studies of the conformal symmetry limit // Phys. Rev. D 94 (2016) no.1, 014006

А.Л. Катаевым изучено применение сформулированного ранее Михайловым и изучавшегося работах авторов данной работы β -разложения для доказательства ошибочности рассмотренного ранее и использовавшегося в работах С.Бродского (США) и его соавторов предложенного ими представления теории возмущений в КХД для обработки предсказаний теории возмущений для характеристик электрон-позитронной аннигиляции в адроны и ширины распада бозона Хиггса на пару $b\bar{b}$ -кварков. Рассмотрен аналог β -разложения который следует применять для изучения предсказаний КХД для ширины такого распада. A.L.Kataev and S.V.Mikhailov / The β -expansion formalism in perturbative QCD and its extension // arXiv:1607.08698

С.А. Кулагиным разработан новый подход к вычислению сечений рождения W и Z бозонов в $p+A$ столкновениях при высоких энергиях, который включает в себя метод последовательного расчёта партонных распределений в ядрах предложенный и разрабатываемый в ИЯИ РАН. На основе этого подхода проведен детальный анализ данных CMS@LHC и ATLAS@LHC по рождению W и Z в $p + Pb$ столкновениях при энергиях $\sqrt{s} = 5.02$ TeV. Продемонстрировано отличное согласие с экспериментом, предложенный подход даёт лучшее в мире описание данных БАК по рождению W и Z бозонов в протон-ядерных столкновениях.

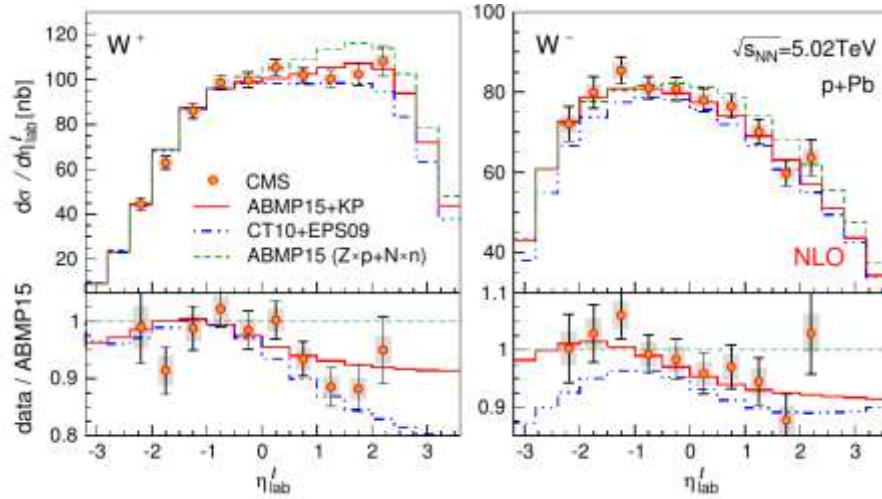


Рис.5 (из работы arXiv:1608.06835). Дифференциальные сечения рождения W^+ (слева) и W^- (справа) в p+Pb столкновениях на БАК при $\sqrt{s} = 5.02$ TeV как функция псевдобыстроты заряженного лептона в конечном состоянии. Данные CMS коллаборации. Красная кривая показывает результаты наших расчётов. На нижней панели показано отношение измеренных сечений к соответствующим результатам без учета ядерных эффектов в партонных распределениях в ядре Pb208. Для сравнения приведены результаты полученные в других подходах.

Подход к вычислению партонных распределений в ядрах и его применение для расчета различных сечений докладывался и обсуждался на конференциях Quarks-2016 в Пушкине и ISHEPP-2016 в Дубне. S.A. Kulagin / Modelling the nuclear parton distributions // arXiv:1606.07016 [hep-ph]

Peng Ru, S.A. Kulagin, R. Petti, Ben-Wei Zhang / Study of W and Z Boson Production in Proton-Lead Collisions at the LHC with KP Nuclear Parton Distributions // arXiv:1608.06835 [nucl-th]

S.I. Alekhin, S.A. Kulagin, R. Petti / Nuclear Effects in the Deuteron and Global PDF Fits // arXiv:1609.08463

S.A. Kulagin / Understanding neutrino cross sections for nuclear targets (focusing at high-energy region $E > 10$ GeV) // доклад на международной конференции Quarks-2016, 29 мая - 4 июня 2016 г., Пушкин, Россия

S.A. Kulagin / Nuclear parton distributions // Пленарный доклад на 23й международной конференции "Релятивистская ядерная физика и квантовая хромодинамика", 18--24 сентября 2016, ОИЯИ, Дубна, Россия

Сильноточный линейный ускоритель ИЯИ РАН

В третьем квартале 2016 года основные усилия ОУК были направлены на подготовку ускорителя и каналов пучка экспериментального комплекса к проведению сеансов работы ускорителя в период осень 2016 – весна 2017 годов. Проводилась профилактика, ремонт и модернизация оборудования вакуумной системы, системы диагностики, системы питания электромагнитного оборудования, систем ВЧ питания начальной и основной частей ускорителя, системы инжекции, системы управления, систем измерения потерь пучка и аварийной защиты и других систем. Продолжены работы по созданию стенда для облучения изделий электронной техники на выходе ускорителя, что увеличит его возможности и востребованность. Продолжены исследования по разработке проекта ускоряющего резонатора для замены первого резонатора основной части ускорителя ИЯИ РАН.

По договору с ОИЯИ продолжены работы по созданию источника поляризованных ионов высокой интенсивности для ускорительного комплекса Нуклотрон – НИКА в Лаборатории физики высоких энергий ОИЯИ. В 2016 г. источник запущен в эксплуатацию и в третьем квартале пучок поляризованных ионов дейтерия был ускорен в линейном ускорителе НУКЛОТРОНА, оборудованном новым RFQ. Выполнены измерения поляризации ускоренного в линейном ускорителе пучка дейтронов.

Завершено 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)». Продемонстрирована работа измерителя на пучке Ag^{+9} с энергией 1,4 МэВ/нуклон с интенсивностью $25\div 40 \text{ нА}$.

Выполнялась 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».

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». Начата разработка технического проекта.

Продолжены исследования 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.

Публикации:

На 28 Международной конференции по линейным ускорителям, Linac 2016, East Lansing, USA, сентябрь 2016, индексируемой в базе Scopus, сделаны доклады:

- 1) B.L. Militsyn, D.Angal-Kalinin, V.V.Paramonov et al., STATUS OF THE INJECTION SYSTEM FOR THE CLARA FEL TEST FACILITY/
- 2) A.Feschenko, S.Gavrilov. Methods for Bunch Shape Monitor Phase Resolution Improvement.

На Международной конференции Beam Instrumentation Conference по диагностике в ускорителях, IBIS 2016, Barcelona, Spain, сентябрь 2016, сделан доклад:

- 1) Z. H. Huck, P. Boonpornprasert, V. Paramonov et al. Progress on the PITZ TDS.

В электронном журнале, индексируемом в базе Scopus Journal of Physics: Conference Series 747 (2016) 012073, IOP Publishing, опубликованы статьи:

- 1) I.V. Rybakov, A.V. Feschenko, Yu.J. Kalinin, V.N. Leontev, A.N. Naboka, V.V. Paramonov, V.L. Serov, Comparison of accelerating structures for the first cavity of the main part of INR linac.
- 2) E.Volobuev, A.Zavadtsev, D.Zavadtsev, L.Kravchuk, V.Paramonov, N.Sobenin, D.Churanov. Deflector XFEL.
- 3) E.Volobuev, A.Zavadtsev, D.Zavadtsev, L.Kravchuk, V.Paramonov, M.Lalayan, A.Smirnov, N.Sobenin, D.Churanov. Transverse deflecting structure XFEL TDS INJ.

Поиск массы электронного антинейтрино: исследование систематических эффектов

Проведено исследование эффекта потерь энергии электроном при упругом рассеянии на молекуле водорода. Подготовлен доклад для совещания коллаборации КАТРИН; направлена статья «Electron scattering on hydrogen and deuterium molecules at 14-25 keV by the "Troitsk nu-mass" experiment» в журнал Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics. Проводятся исследования возможности регистрации электронов бета-распада трития с помощью микропиксельного лавинного фотодиода производства Zecotek Photonics Inc, Дубна.

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

Проведены подготовительные работы по реконструкции, совместно с ОФВЭ ФИАН, тестового пучка электронов (позитронов) с энергией 20 – 100 МэВ, разрешением 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.

Поиск тёмной материи Вселенной

Проведены разработка и испытания детектирующей системы камеры по поиску WIMP с массой менее 10 ГэВ, а также аксионов, испускаемых Солнцем. Результаты опубликованы в журнале “Universal Journal of Physics and Application” 10(2) 58-59 (2016) USA, “Horizon Publishing Corp”.

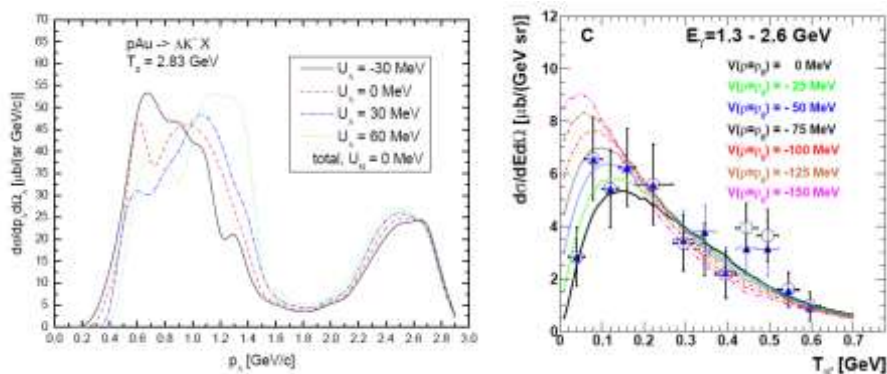
Исследование подпорогового рождения лёгких векторных мезонов и заряженных каонов в протон и фотоядерных реакциях

В рамках разработанной авторами 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 соответствии с российско-германским научным сотрудничеством, проведены расчёты сечения изучаемой реакции на ядрах серебра и золота с учётом различных эффектов среды.

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; опубликована статья в журнале Phys.Rev.C.

Оценено сечение фоторождения недавно открытого Коллаборацией LHCb пентакварка со скрытым чармом $P_c(4450)$ на лёгких и тяжёлых ядрах вблизи порога. Показано, что использование ядерных мишеней не дает особых преимуществ по сравнению с использованием жидководородной мишени ввиду “размытия” формы резонанса Ферми-движением нуклонов ядра.

Выполнены расчёты эксклюзивного сечения реакции (γ , $\eta'p$) на ядре углерода при энергии первичных фотонов 1.3-2.6 ГэВ в предположении независимости потока фотонов от их энергии. Проведено сравнение этих расчетов с результатами нового анализа данных, полученных коллаборацией CBELSA/TAPS, см.рис. Цель данной работы – определить величину сдвига массы η' мезонов в ядерной материи при относительно малых импульсах.



Изучение роли собственной энергии в переходах нейтрон-антинейтрон. Осцилляции частиц в поглощающей среде. Регенерация каонов

Отправлены в редакцию статьи “Kaon regeneration in perturbation theory” и “Kaon regeneration”.

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

Отлажена и проверена статистическая модель аннигиляции медленного антинейтрона на ядре углерода. С помощью этой программы сгенерирован файл со 100000 событий аннигиляции антинейтрона на ядре C12, который будет использоваться при проектировании детектора для готовящегося эксперимента по поиску NN осцилляций на ESS (LUND, Швеция).

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

Статья “Neutron-antineutron oscillations: Theoretical status and experimental prospects”, D.G.Phillips, И...V.B.Kopeliovich (63 authors) опубликована в журнале Phys.Rept. 612, 1 – 45 (2016).

Статья “Simple estimates of masses of pentaquarks with hidden beauty or strangeness” Vladimir Kopeliovich, Irina Potashnikova, опубликована в апрельском номере журнала Phys. Rev D 93. В этой работе сделаны оценки масс пентакварков со скрытым очарованием и странностью.

Доклад “Estimates of masses of pentaquarks with hidden beauty or strangeness”, Vladimir Kopeliovich, представлен на конференции “Hadron Structure and Quantum Chromodynamics” (HSQCD), 27 июня – 1 июля 2016г., Гатчина, ПИЯФ.

Продолжены (совместно с Д.Е.Ланским (НИИЯФ МГУ) и И.К.Поташниковой (Университет Санта Мария, Вальпараисо, Чили)) расчёты спектров ядерных состояний с квантовыми числами очарование и прелесть, 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.

Установлено, что характерные полиномы, зависящие от полярных углов, определяющих импульсы промежуточных частиц, а также угловую зависимость сечения рождения кумулятивных частиц из ядер за счёт многократных процессов,

совпадают (с точностью до множителя) с известными в математике полиномами Чебышёва 2-го рода. Доклад “Mathematical aspects of the nuclear glory phenomenon: from backward focusing to Chebyshev polynomials” представлен на конференцию ICPPA (2-d International Conference on Particle Physics and Astrophysics), МЕРФИ, Moscow, October 10 – 14, 2016, <http://indico.cfr.mephi.ru/event/4/program>.

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

Были представлены на международном семинаре в ОИЯИ (Дубна) следующие доклады (находятся в печати):

1. Yu.V. Grigoriev, E.A. Koptelov, O.N. Libanova, Zh.V. Mezentsева, A.V. Novikov-Borodin, V.V. Sinitsa "Determination of Group Neutron Cross-Sections and their Integral Characteristics for Minor Actinides by GRUCON Code based on Estimated Data of ENDFB, JENDL, JEFF, BNAB" - доклад на ISINN-24, май 2016. (Абстракт опубликован, статья в печати в материалах конференции).
2. Yu.V. Grigoriev, A.V. Novikov-Borodin "Power Installations based on Activated Nuclear Reactions of Fission and Synthesis" – там же.

Ю.В. Григорьев, А.В. Новиков-Бородин "АКТИВИРУЕМЫЕ ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ В ЛИТИЙ- ИЛИ БОР- БЕРИЛЛИЕВОЙ СМЕСИ И ГИБРИДНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ НА ИХ ОСНОВЕ" - препринт ИЯИ, в печати, послана статья в журнал Ядерная физика.

Д. Хлюстин: проведены измерения функций пропускания и самоиндикации на образцах железа и никеля.

Прикладная ядерная физика, радиоизотопные исследования, электроядерная трансмутация делящихся материалов, ядерная медицина

Совместно с Больницей РАН в г.Троицке, медиками Екатеринбурга и ЗАО “Тюменские аэрозоли” для публикации в зарубежной печати подготовлена и отправлена в печать статья “Терапия микродозами смесей благородных газов с кислородом для активного долголетия-путь к бессмертию”.

В рамках межведомственной программы исследований и разработок ФАНО и РАН “Физика медицины”(отв. от ИЯИ РАН Акулиничев С.В.) оформлена заявка “Устройство для высокоточных хирургических операций и высокоточной ПЭТ-томографии” Устройство основано на разработанных ранее высоконадежных многоканальных газовых умножителей” (Патент РФ №2417384 от 11.03.2010г.)

Отправлена заявка в ФИПС на патент РФ С.Г.Лебедев, В.Э.Янц. «Радиохимический детектор плотности потока быстрых нейтронов»

Статья 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» послана в журнал «Космические исследования».

S.G.Lebedev, Computer simulation of thin stripper target behavior under bombardment of intense pulsed ions, to be published in International Journal of Modern Communication Technologies & Research, 2016.

В ИЯИ РАН развиваются методы и технологии получения ряда альфа-активных терапевтических радионуклидов при облучении металлического тория протонами средних энергий (120-160 МэВ). Данный подход считается чрезвычайно перспективным, но нигде в мире пока еще не реализован. Наряду с основным радионуклидом, актинием-225, в ядерных реакциях образуются другие радионуклиды,

перспективные для применения в ядерной медицине. Изучено хроматографическое разделение радия-223 и протактиния-230 от других образующихся радионуклидов на различных экстракционно-хроматографических смолах (Sr Resin, Octanol Resin, TEVA Resin французской компании TrisKem Int.) и достигнуто эффективное разделение, что перспективно в будущем использовать при производстве альфа-активных радиофармпрепаратов на основе радионуклидов, получаемых на линейном ускорителе ИЯИ РАН. Научно-исследовательские работы выполнялись совместно с Химическим факультетом Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова.

ПУБЛИКАЦИИ:

1. 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. *Radiochim. Acta*, 2016, v. 104, issue 8, p. 539–547.

2. 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.*, 2016. DOI 10.1007/s10967-016-4996-x. Принято к печати, опубликовано в Интернете.

3. A.N. Vasiliev, A.V. Severin, E.V. Lapshina, E. Chernykh, S.V. Ermolaev, S.N. Kalmykov. Hydroxy apatite particles as carriers for ^{223}Ra .// *J Radioanal. Nucl. Chem.*, 2016. DOI: 10.1007/s10967-016-5007-y. Принято к печати, опубликовано В Интернете.

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 , η и ω - мезонов и комптоновского рассеяния фотонов на нуклонах. Эксперименты выполнены коллаборацией A2 на пучке меченых фотонов с энергией до 1,5 ГэВ от ускорителя MAMI (Майнц, Германия). Новизна работы обеспечена использованием поляризованных протонных и дейтронных мишеней и поляризованного гамма-пучка. Российскими учеными впервые разработана и успешно применена активная поляризованная мишень с высокой эффективностью и низким порогом регистрации протонов (Рис. 1), что позволило получить модельно независимые данные о спиновой поляризуемости протона. Получены также новые данные о вкладах различных нуклонных резонансов в указанные реакции. В частности, на основе данных о спиновой зависимости фоторождения η -мезонов на квазисвободных нуклонах проанализирована природа узкой структуры, наблюдаемой в сечении этого процесса. Показано, что наблюдаемый узкий резонанс проявляется только при антипараллельной 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. Элементы активной поляризованной мишени

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. S. Gardner, G.M. Gurevich, R. Kondratiev, V. Lisin, A. Mushkarenkov, A. Polonski et al. Photon asymmetry measurements of $\gamma p \rightarrow \pi^0 p$ for $E_\gamma=320-650$ MeV. [arXiv:1606.07930v1](https://arxiv.org/abs/1606.07930) [nucl-ex].
4. P. Adlarson, G.M. Gurevich, R. Kondratiev, V. Lisin, A. Mushkarenkov, A. Polonski et al. Measurement of the $\omega \rightarrow \pi^0 e^+ e^-$ and $\eta \rightarrow e^+ e^- \gamma$ Dalitz decays with the A2 setup at MAMI. [arXiv:1609.04503v1](https://arxiv.org/abs/1609.04503) [hep-ex].
5. A. Käser, R. Kondratiev, V. Lisin, A. Mushkarenkov, A. Polonski et al. Photoproduction of $\eta\pi$ - pairs off nucleons and deuterons. Eur. Phys. J. A 52, 272 (2016).
6. G.M. Gurevich, V.P. Lisin. Measurement of the proton spin polarizabilities at MAMI. ЭЧАЯ (в печати).
7. Г.М. Гуревич. Исследование спиновой структуры протона на ускорителе МАМИ. Международная сессия-конференция секции ядерной физики ОФН РАН. Дубна, 12-15 апреля 2016 г.

Поиск нейтрино от гравитационных коллапсов звёзд

За период наблюдения за Галактикой по данным Артёмовского Сцинтилляционного 100-тонного Детектора (АСД) с ноября 1977г. по октябрь 2016г. кандидатов на нейтринные вспышки от гравитационных коллапсов звёзд обнаружено не было. За 38.8 лет работы получено ограничение на частоту гравитационных коллапсов: менее одного события за 16.85 года на 90% доверительном уровне ($f_{\text{col}} < 0.059 \text{ года}^{-1}$). О. 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) получено ограничение на частоту гравитационных коллапсов звезд в Галактике, равный 0.096 года^{-1} .

Проводится анализ временных совпадений между сигналами детекторов LVD, АНС и БПСТ с целью поиска корреляционных эффектов.

На основе данных трех 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. *Выступление на Всероссийской конференции по космическим лучам (ВККЛ 2016), Дубна, Россия и выступление на Европейском симпозиуме по космическим лучам ECRS 2016, Турин, Италия (Н.Ю. Агафонова и др. (Коллаборация LVD) «Измерение сезонных вариаций удельного числа нейтронов, генерируемых мюонами под землей с помощью детектора LVD»).*

Проведен долговременный анализ фона (постоянной и варьирующейся компоненты), регистрируемого детектором LVD в подземной лаборатории LNGS. *Выступление на Всероссийской конференции по космическим лучам ВККЛ 2016: Е.А. Добрынина и др. (Коллаборация LVD) «Изучение низко-энергетического фона в подземной лаборатории Гран Сассо с помощью детектора LVD».* *Выступление на конференции NEUTRINO 2016 в Лондоне D. Duchesneau от Коллаборации OPERA "Recent results from OPERA and review of other present LBL oscillation measurements".*

Опубликована работа о методе определения заряда в магнитных спектрометрах детектора OPERA для идентификации мюонов при распаде тау лептонов и взаимодействий 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, 2016.

Эксперимент Герда

Полностью введена в строй вторая фаза эксперимента Герда. Установка включает 7 коаксиальных германиевых детекторов улучшенной конструкции (с общей массой 15,8 кг) и 30 новых детекторов с точечным анодом (с общей массой 20 кг).

В результате использования анализа формы сигнала детекторов и антисовпадений с сцинтилляционным сигналом от окружающего жидкого аргона индекс фона понижен в 10 раз по сравнению с фазой 1 и достигнут величины 10^{-3} /кэВ.кг.год, что является уникальным достижением. К настоящему моменту на основе экспозиции 10,8 кг.год для периода двойного безнейтринного бета распада изотопа Ge-70 получен верхний предел $T_{1/2} > 4 \cdot 10^{25}$ лет, что является наилучшим мировым достижением.

Изучение редких распадов В-мезонов в эксперименте LHCb

Наиболее точное измерение нарушения CP-чётности в секторе с-кварка («чарма») из разницы времени распадов D^0 мезонов в комбинации K^+K^- и $\pi^+\pi^-$ пар.

До сих пор CP-нарушение, связанное с разницей свойств материи и антиматерии, не наблюдалось в секторе с-кварка. В Стандартной Модели (СМ) предсказывается чрезвычайно малый уровень нарушения CP-чётности в секторе «чарма», для распадов $D^0 \rightarrow KK(\pi\pi)$ меньше 10^{-3} . Так как D^0 мезон составлен из верхних кварков (u и s), их экспериментальные свойства особо чувствительны к эффектам за рамками СМ. LHCb опубликовал результат наиболее точного измерения нарушения CP-чётности в секторе с-кварка, согласующийся с отсутствием CP нарушения с точностью несколько единиц 10^{-4} .

Наблюдение наиболее редкого адронного распада В-мезона.

LHCb произвела первое в мире наблюдение распада $B^0 \rightarrow K^+K^-$ на уровне достоверности более 5 стандартных отклонений. Данная мода распада происходит с вероятностью менее 10^{-7} . Данный результат поможет уточнить модельные расчёты с участием адронов с тяжёлыми ароматами в рамках квантовой хромодинамики.

Наиболее точное измерение полулептонной асимметрии.

LHCb коллаборация обновила результат измерений полулептонной асимметрии a_{sl}^s , отражающей разницу между вероятностью осцилляции B^0 -мезона в своего анти-партнера и обратного процесса. При этом среди продуктов распадов присутствуют лептоны (в данном случае - мюоны). Любая ненулевая разница будет свидетельствовать о несохранении CP-чётности, отражающей разницу между веществом и анти-веществом. Результат LHCb хорошо согласуется с предсказаниями Стандартной модели и не подтверждает удивительный результат D0 коллаборации [PRD 89 (2014) 012002], указывающий на аномальную ди-мюонную асимметрию.

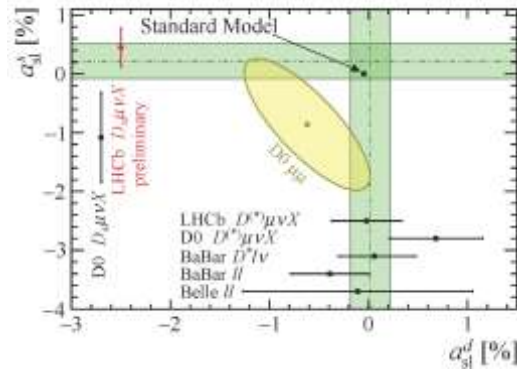


Рисунок. Показаны результаты измерений асимметрий a_{sl}^s и a_{sl}^d разными коллаборациями и усреднённое мировое среднее (зеленые полосы) с интервалом ошибок $\pm 1\sigma$. Также показаны контуром 68%CL результаты коллаборации D0 в плоскости $a_{sl}^s - a_{sl}^d$.

Публикации:

1) By LHCb Collaboration. “CP-violating asymmetries from the decay-time distribution of prompt $D^0 \rightarrow K^+ K^-$ and $D^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$ decays in the full LHCb Run~1 data sample. Measurement using yield asymmetries in bins of decay time.” *LHCb-CONF-2016-009* ; *CERN-LHCb-CONF-2016-009*.

2) By LHCb Collaboration. “CP-violating asymmetries from the decay-time distribution of prompt $D^0 \rightarrow K^+ K^-$ and $D^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$ decays in the full LHCb Run 1 data sample. Measurement using unbinned, acceptance corrected decay-time.” *LHCb-CONF-2016-010* ; *CERN-LHCb-CONF-2016-010*.

3) By LHCb Collaboration. LHCb-PAPER-2016-036 (in preparation), presented to ICHEP-2016.

4) R. Aaij et al. (LHCb Collaboration) “Measurement of the CP Asymmetry in $B^0 s - B^- s$ Mixing”, *Phys. Rev. Lett.* 117, 061803 (2016)

5) R. Aaij et al. (LHCb Collaboration) “Measurement of the semileptonic CP asymmetry in $B^0 - B^- s$ mixing” *Phys. Rev. Lett.* 114, 041601 (2015)

Эксперимент с фиксированной мишенью на пучках ЛНС по физике адронов и по релятивистской ядерной физике

Несмотря на большой прогресс, достигнутый в экспериментах на ускорителях SPS в ЦЕРНе, коллайдерах RHIC в Брукхейвене, США и LHC в ЦЕРНе, свойства вещества в экстремальных условиях сверхвысоких температур и плотностей до сих пор недостаточно изучены. При высоких температурах и больших плотностях энергии квантовой хромодинамикой (КХД) предсказывается существование кварк-глюонной плазмы (КГП). Эксперименты с фиксированной мишенью на пучках ЛНС имеют преимущества по сравнению с экспериментами на коллайдере. Высокая светимость значительно увеличит статистическую точность экспериментальных данных. При использовании протонного и ионного пучков ЛНС может быть исследована область энергии между максимальной энергией SPS (29 ГэВ) и стандартной энергией RHIC (200 ГэВ) в p-A и A-A столкновениях. Для протонного пучка с энергией 7 ТэВ энергия в нуклон-нуклонном центре масс составит 114.6 ГэВ, и для пучка свинца с энергией 2.75 ТэВ - 71.8 ГэВ.

Предложен эксперимент AFTER (A Fixed Target ExpeRiment) с фиксированной мишенью на пучках БАК. Может использоваться изогнутый кристалл, отклоняющий пучок либо его часть в сильном поле кристалла. Далее располагается фиксированная мишень. Мишенью также может служить тонкое проволочное кольцо, помещенное в гало основного пучка. Существующая система газовой мишени для измерения светимости (SMOG) в эксперименте LHCb также может быть использована для

экспериментов с фиксированной мишенью на LHC. Эксперимент AFTER имеет обширную физическую программу, дает возможность использовать различные мишени большой толщины, а также использовать поляризованные мишени. Физическая программа включает рождение чармония, J/ψ , $\psi(2S)$ и χ , изучение процесса Дрелла-Яна, измерение рождения D-мезонов, измерение потоков частиц (flow), спиновую физику, сканирование по энергии для поиска критической точки перехода в кварк-глюонную плазму.

Используя пучки LHC с уменьшенной энергией на фиксированной мишени, можно получить данные в диапазоне энергий 30-100 ГэВ. Поиск эффектов фазового перехода и определение критической точки является основной целью энергетического скана.

Основным параметром для определения возможности рождения чармония в эксперименте с фиксированной мишенью является аксептанс. Проведены расчёты геометрического аксептанса и выходов J/ψ -мезонов на фиксированной мишени в виде тонкого кольца на пучках LHC. Результаты, показывающие возможность проведения таких экспериментов с хорошей статистической точностью опубликованы. На рис. представлен расчёт распределений по поперечному импульсу и быстройроте для J/ψ -мезонов. Геометрический аксептанс для измерений с фиксированной мишенью такого же порядка и даже превосходит геометрический аксептанс в столкновениях ядер свинца в эксперименте ALICE на коллайдере LHC.

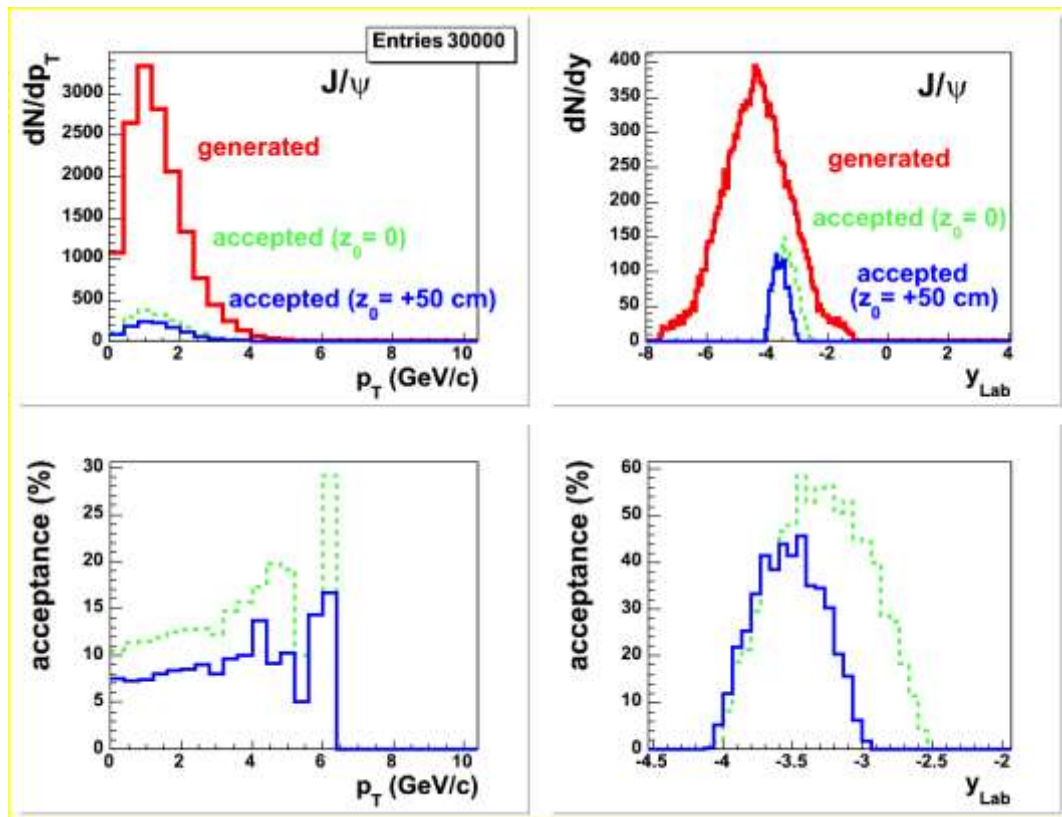


Рис. Распределение по поперечному импульсу и быстройроте для J/ψ -мезонов, рожденных в точке $z=+50$ см (сплошная линия) и $z=0$ (пунктир) в столкновениях ядер свинца Pb-Pb при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 71.8$ ГэВ (верх) и соответствующий аксептанс (низ).

Представлен доклад на Международном Балдинском Семинаре ISHEPP_ XXIII, Дубна, Россия, 19-24 сентября 2016 г. Н.С.Топильская, А.Б.Курепин Heavy ion collisions in a fixed target mode at the LHC beams.

Публикация: А.В.Kurepin and N.S.Topilskaya "Quarkonium Production and Proposal of the New Experiments on Fixed Target at the LHC," Advances in High Energy Physics, vol. 2015, Article ID 760840, 13 pages, 2015. doi:10.1155/2015/760840.

Мегапроект MPD/NICA

В рамках мегапроекта НИКА продолжалось сотрудничество ИЯИ РАН – ОИЯИ по разработке переднего адронного калориметра фрагментов для установки MPD/NICA. Подготовлен технический проект калориметра, состоящего из 90 индивидуальных модулей. Предложенный вариант калориметра обладает точностью восстановления угла плоскости реакции в 1.5 раза лучше, чем в современных экспериментальных установках. Представлен новый оригинальный метод определения центральности взаимодействий с использованием не только восстановленной энергии, выделенной спектаторами в калориметре, но и с пространственным распределением спектаторов на поверхности калориметра. Новый метод позволяет разрешить неоднозначность в определении центральности, вызванную утечками энергий спектаторов в отверстие для пучка, а также улучшить точность определения центральности.

В рамках подготовки к производству адронного калориметра, в ИЯИ РАН изготавливается первый супермодуль, состоящий из 9 индивидуальных модулей калориметра. Изготовлены все компоненты для сборки супермодуля, разработана технология изготовления и необходимая оснастка.



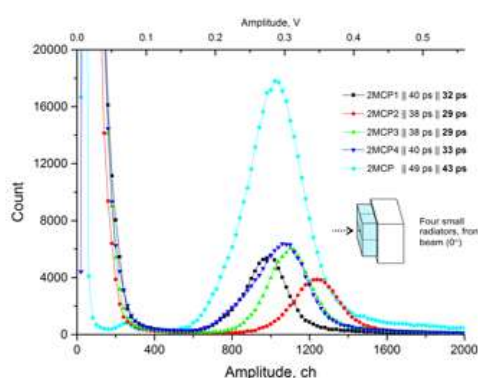
Рис. Основные компоненты для изготовления супермодуля калориметра. Слева – сцинтилляционная пластина с канавкой для вклеивания спектросмещающего волокна.

Справа – свинцово-сурьмяновые поглотители адронного ливня и механические компоненты модуля.

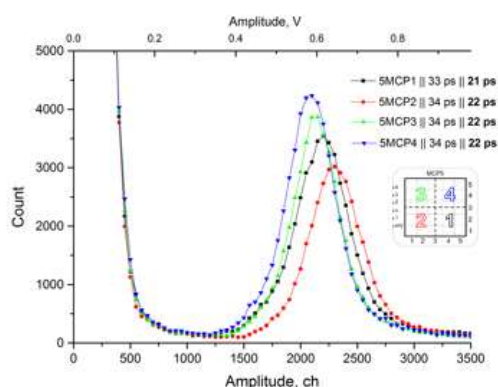
Исследование ядерно-ядерных взаимодействий на установке ALICE (ЦЕРН)

В ИЯИ РАН разрабатывается прототип новой детекторной системы фронтального интеллектуального триггера (детектор ФИТ), для модернизации установки ALICE в 2017-2018 гг. Основными компонентами детектора являются микроканальные ФЭУ на микроканальных пластинах (МКП). Совместно с фирмой PHOTONIS USA проведена модернизация и выпущен один экземпляр нового МКП. Результаты испытаний модернизированного и стандартного МКП приведены на рис.

Beam tests of the modified PLANACON **Standard XP85012 Modified**



- MCP amplification 10^6
- Amplitude ~ 1100 channels
- Time resolution ~ 30 ps



- MCP amplification 10^6
- Amplitude ~ 2100 channels
- Time resolution ~ 22 ps

Рис. Амплитудные спектры и временные разрешения модернизированного и стандартного МКП XP85012.

Проведенные исследования показали, что для модифицированного МКП амплитудные спектры имеют меньший разброс, временное разрешение улучшилось и увеличился динамический диапазон. В 3 квартале поведена следующая модификация МКП и фирмой PHOTONIS USA выпущены две новые МКП. Лабораторные испытания этих МКП показали, что динамический диапазон увеличен в два раза и размеры МКП уменьшились на 10 мм. Изменение размера МКП позволило изменить конфигурацию детектора от плоского до вогнутого расположения элементов детектора, что позволяет улучшить временное разрешение детектора ФИТ.

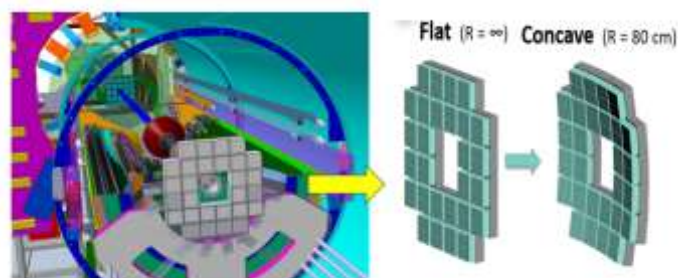


Рис. Плоская и вогнутая конфигурация детектора ФИТ на установке ALICE.

С мая 2016 прототип детектора успешно и надежно участвует в наборе данных для р-р столкновений при энергии $\sqrt{s}$ 13 TeV .

Представлены доклады на Международной конференции «ALICE CERN - Russia» в Москве 14-15 сентября 2016 года:

1. Т. Karavicheva "FIT upgrade"
2. А. Konevskich «Luminosity determination at the ALICE experiment at the Large Hadron Collider»
3. А. Furs «Measurements of Event Plane at the ALICE experiment in Pb-Pb Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV»
4. Ulyana Dmitrieva, Moscow «Nuclear resonance fluorescence in collisions of lead nuclei at the LHC»

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

Изготовлены и протестированы прототипы сцинтилляционных детекторов, свет с которых считывается напрямую с помощью ФЭУ. Получено временное разрешение порядка 0.3 нсек, что, примерно, в 2-3 раза лучше, чем в существующих ячейках переднего годоскопа. Продолжается сборка модулей нового 1000 канального электромагнитного калориметра. В третьем квартале протестированы 80 собранных модулей.

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

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. Проведены тестовые сеансы в ЦЕРНе.

С сентября 2016г, на NA61 идет физический сеанс на пучке протонов, в котором участвуют сотрудники ИЯИ РАН, ведётся анализ полученных данных.

Исследование свойств сжатой барионной материи на установке CBM в GSI

Изготовлены и протестированы все необходимые комплектующие компоненты модулей адронного калориметра установки CBM. Проведено тестирование прототипов аналоговой и цифровой электроники для модулей калориметра на пучке протонов в ЦЕРНе.

Учёный секретарь ИЯИ РАН А.Д. Селидовкин