

Важнейшие достижения Института ядерных исследований Российской академии наук во 2 квартале 2017 года

Сотрудниками Института во втором квартале опубликовано более 80 научных статей в высокорейтинговых журналах и докладов на международных конференциях. Наиболее важные достижения перечислены ниже.

Проведен анализ нейтринных событий, зарегистрированных в глубоководном нейтринном эксперименте NT200 в озере Байкал за пять лет наблюдений в направлении на тёмные карликовые галактики Южной полусферы и на Большое Магелланово Облако. Этим анализом был завершён цикл работ по данным NT200 в поиске сигнала от аннигиляции тёмной материи в астрофизических объектах. Не обнаружено какого-либо значимого превышения в числе наблюдаемых событий относительно ожидаемого фона от атмосферных нейтрино во всех тестируемых направлениях - в двадцати двух галактиках и в галактике БМО. Для ансамбля из пяти отобранных карликовых галактик установлены верхние пределы на сечения аннигиляции частиц тёмной материи с массой от 30 ГэВ до 10 ТэВ. Наиболее сильные ограничения на уровне $7 \cdot 10^{-21} \text{ см}^3/\text{с}$ получены для направления на галактику БМО в канале аннигиляции в пару нейтрино.

BAIKAL Collaboration (S.V.Demidov, A.D. Avrorin et al.) / Dark matter constraints from an observation of dSphs and the LMC with the Baikal NT200 // JETP Vol. 152 (7) (2017)

Точные решения и критический хаос в дилатонной гравитации с границей. Рассмотрена (1+1)-мерная модель дилатонной гравитации с отражающей динамической границей, которая обрезает область сильной связи и делает причинную структуру модели похожей на структуру сферически-симметричного сектора многомерной гравитации. Продемонстрировано, что модель обладает симметрией $SL(2, \mathbb{C})$ на уравнениях движения и является точно решаемой на классическом уровне. Получено общее классическое решение и подробно изучен подкласс специальных солитонных решений, которые описывают отражение материи от границы при низких энергиях и формирование чёрных дыр при энергиях, превышающих критическую. Эти решения могут быть поставлены в соответствие собственным состояниям вспомогательной интегрируемой модели - цепочки Годена. Показано, что несмотря на точную решаемость классическая эволюция в рассматриваемой модели в критическом режиме, т.е. на грани формирования чёрных дыр, обладает динамическими неустойчивостями, присущими хаотическим системам. Данная модель может быть интересна для изучения чёрных дыр и гравитационного рассеяния.

Maxim Fitkevich, Dmitry Levkov, Yegor Zenkevich / Exact solutions and critical chaos in dilaton gravity with a boundary // JHEP 1704 (2017) 108

Проанализировано современное состояние данных, указывающих на аномальную прозрачность Вселенной для гамма-излучения высоких энергий. Показано, что предпочтительные значения параметров аксионоподобной частицы, объясняющей это явление, лежат в пределах, доступных для изучения аксионному гелиоскопу среднего масштаба с чувствительностью по аксион-фотонной константе, лишь в несколько раз лучшей сегодняшней.

S.V. Troitsky / Axion-like particles and the propagation of gamma rays over astronomical distances // JETP Lett. 105 (2017) no.1, 55-59

На основе анализа данных мюонного детектора ШАЛ-МГУ показано, что в широких атмосферных ливнях, вызванных первичными частицами с энергиями порядка 10^{17} эВ, на расстояниях от оси ливня порядка сотен метров, содержание мюонов с энергиями выше 10 ГэВ хорошо описывается в рамках общепринятых моделей адронных взаимодействий. Таким образом, при этих условиях не наблюдается

значительный избыток мюонов, зарегистрированный другими экспериментами в других режимах. Этот результат может указать путь корректировки адронных моделей с целью решения проблемы мюонного избытка.

No muon excess in extensive air showers at 100–500 PeV primary energy: EAS–MSU results. Yu.A. Fomin, N.N. Kalmykov (SINP, Moscow), I.S. Karpikov (Moscow, INR), G.V. Kulikov (SINP, Moscow), M.Yu. Kuznetsov, G.I. Rubtsov (Moscow, INR), V.P. Sulakov (SINP, Moscow), S.V. Troitsky (Moscow, INR). Sep 19, 2016. 6 pp.
Published in *Astropart.Phys.* 92 (2017) 1–6

На основе нового анализа мюонных данных установки ШАЛ-МГУ получены ограничения сверху на потоки космических фотонов с энергиями $\sim 10^{16}$ – $10^{17.5}$ эВ. В ряде энергетических диапазонов эти ограничения являются наиболее строгими в мире.

Constraints on the flux of $\sim (10^{16} - 10^{17.5})$ eV cosmic photons from the EAS-MSU muon data. Yu.A. Fomin, N.N. Kalmykov (SINP, Moscow), I.S. Karpikov (Moscow, INR), G.V. Kulikov (SINP, Moscow), M. Yu Kuznetsov, G.I. Rubtsov (Moscow, INR), V.P. Sulakov (SINP, Moscow), S.V. Troitsky (Moscow, INR). Feb 26, 2017. 8 pp.
*Phys.Rev. D*95 (2017) no.12, 123011

Предложен способ согласовать противоречивые на первый взгляд данные о профиле плотности окологалактического газа, полученные, с одной стороны, из спектральных рентгеновских наблюдений, и, с другой стороны, из анализа вымывания газа из карликовых спутников Галактики. Способ основан на допущении физически мотивированного изменения металличности газа по мере удаления от центральных областей Галактики. Построена непротиворечивая модель профилей плотности и металличности газа, удовлетворяющая всем наблюдениям. Полной массы окологалактического газа в этой модели оказывается достаточно для решения проблемы недостатка барионов в Галактике.

Density and metallicity of the Milky-Way circumgalactic gas. Sergey Troitsky. Jul 19, 2016. 4 pp.
Mon.Not.Roy.Astron.Soc. 468 (2017) L36–L40

Одна из фундаментальных симметрий в физике - Лоренц-инвариантность - может быть нарушена при высоких энергиях в ряде теоретических подходов к квантованию гравитации, и поэтому требует экспериментальной проверки. Изучено влияние гипотетического нарушения Лоренц-инвариантности при высоких энергиях на формирование атмосферных ливней, вызванных фотонами с энергиями тэвного диапазона и регистрируемых наземными черенковскими гамма-телескопами. В случае, когда нарушение Лоренц-инвариантности приводит к уменьшению скорости фотона с энергией, формирование атмосферных ливней становится подавленным по сравнению с Лоренц-инвариантной теорией. Отсутствие такого подавления в высокоэнергетической части спектра Крабовидной туманности, измеренного независимо в экспериментах HEGRA и HESS, позволило установить ограничение снизу на энергетический масштаб такого нарушения Лоренц-инвариантности. Это ограничение находится на уровне наиболее сильных, полученных из анализа временной структуры сигнала переменных астрофизических источников и поглощения фотонов ТэВ-диапазона на внегалактическом фоновом излучении. Дальнейшее улучшение полученных ограничений станет возможным после ввода в действие следующего поколения обсерваторий, регистрирующих фотоны еще более высоких энергий.

Grigory Rubtsov, Petr Satunin, Sergey Sibiryakov / Constraints on violation of Lorentz invariance from atmospheric showers initiated by multi-TeV photons // *JCAP* 1705 (2017) no.05, 049

Предложена самосогласованная модель, объясняющая спектр и массовый состав космических лучей при энергиях свыше 0.1 ЭэВ, а также поток астрофизических нейтрино в рамках единственного класса источников, таких как активные ядра галактик. В данной модели предполагается, что взаимодействия космических лучей сверхвысоких энергий с газом и излучением вблизи источника существенно искажают первичный спектр инжекции и вносят значительный вклад во вторичный сигнал

нейтрино и гамма-излучения. Также показано, что экспериментальные данные по спектру космических лучей и нейтрино можно объяснить и в рамках более простой модели, ограничившись лишь взаимодействием с газом, однако в этом случае предсказываемый массовый состав оказывается тяжелее наблюдаемого. Продemonстрировано, что указанная модель не противоречит экспериментальным данным по потоку диффузного гамма излучения. Поток вторичных гамма-квантов от взаимодействий космических лучей составляет порядка 30% от полного, наблюдаемого в эксперименте Ферми LAT.

M. Kachelriess, O. Kalashev, S. Ostapchenko, D.V. Semikoz // A minimal model for extragalactic cosmic rays and neutrinos / arXiv:1704.06893

Выполнены расчёты приливного разрушения аксионных минигустков при их пролётах через диск Галактики и сближениях со звёздами в предположении, что аксионы составляют основную часть тёмной материи во Вселенной. Учтено распределения аксионных минигустков по орбитам в гало Галактики. Исследованы варианты с профилем плотности Наварро-Френка-Уайта и изотермическим профилем. В расчётах учтены звёзды в гало и в сфероидальной части Галактики (балдже). Показано, что 2-5% аксионных минигустков разрушаются при пролете около звёзд и преобразуются в аксионные шлейфы, которые могут регистрироваться современными детекторами. Эффективность разрушения аксионных минигустков зависит от модели гало тёмной материи. Показано, что ожидаемый темп регистрации шлейфов с контрастом плотности по отношению к локальной плотности гало больше единицы составляет 1-2 за 10 лет наблюдений. Рассмотрена возможность регистрации шлейфов по их приливному воздействию на гравитационно-волновые интерферометры.

Статья с этими результатами принята в печать в ЖЭТФ (авторы В.И.Докучаев, Ю.Н.Ерошенко и И.И.Ткачёв).

Доложены аналитические результаты для вкладов поправок порядка $O(\alpha^6)$ КЭД для полного сечения рождения лептон-антилептонной пары в процессе однофотонной электрон-позитронной аннигиляции. В случае тяжёлого тау-лептона результаты представляют интерес для феноменологических задач, планируемых на строящемся в Новосибирске новом ускорителе - тау-лептонной фабрике. Результаты представлены в двух схемах перенормировок – аналога схемы минимальных вычитаний и схемы вычитания на массовой поверхности. Продemonстрировано преимущество использования второй теоретической процедуры в феноменологических приложениях с точки зрения изучения численных вкладов полученных эффектов. Корректность результатов проверена с помощью изучения их самосогласованности с фундаментальной конформной симметрией, выполняющейся для класса конкретных вкладов теории возмущений в представленные аналитические выражения.

Международная конференция по прецизионным вычислениям и фундаментальным константам 15-19.05.2017, Университет Варшавы, Польша (<http://ffk2017.fuw.edu.pl>)

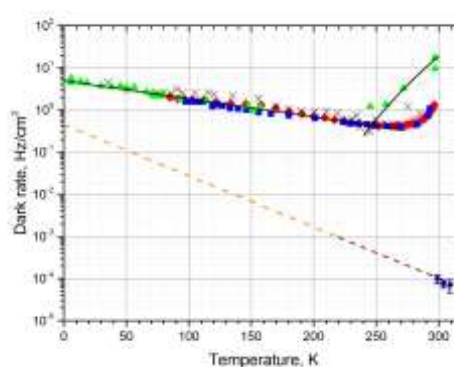
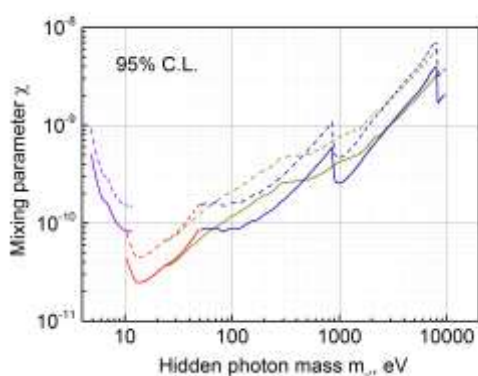
Найдены численные значения двух коэффициентов в разложении полюсной массы тяжёлых кварков через бегущую в приближении порядка $O(\alpha_s^4)$ с учётом новых результатов численных расчётов на суперкомпьютере “Ломоносов” с использованием методов наименьших квадратов. Показано, что учёт новых результатов приводит к существенному уменьшению теоретических неоднозначностей применения метода наименьших квадратов.

XXIV Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых “Ломоносов-2017”, МГУ, Москва, 10-14 апреля 2017 г. А.Л. Катаев, В.С.Молокозедов “Отношение полюсных и бегущих масс тяжёлых кварков в КХД”

Предложена тропосферная модель динамической самоорганизации недр Солнца и звёзд нижней части Главной последовательности, жёлтых и красных карликов, в недрах которых есть конвективные зоны и гелиево-водородная плазма. Высказано предположение, что в этих звёздах формируются тропосферы, подстраивающиеся в резонанс с космологическими 160-минутными пульсациями, о существовании которых объявлено в недавних работах.

Ю. С. Копысов, Ю. И. Стожков. *Тропосферная модель динамической самоорганизации недр Солнца и звёзд нижней части Главной последовательности как путеводная нить к пониманию природы универсальных 160-минутных осцилляций звёзд и ядер галактик*. Доклад на LIII Всероссийской конференции по проблемам динамики, физики частиц, физики плазмы и оптоэлектроники. Москва, 15-19 мая 2017 г.

По данным измерений скорости счёта одиночных электронов в течение 78 суток в двух конфигурациях мультикатодного счётчика с медным катодом получен новый верхний предел на параметр смешивания для массы скрытых фотонов от 5 эВ до 10 кэВ: менее 4×10^{-11} для области наивысшей чувствительности детектора от 10 до 30 эВ. Измерения проводились при трёх температурах: 26°C, 31°C и 36°C. Среднее значение скорости счёта в пересчёте на 1 см² составило $(0.79 \pm 0.11) \cdot 10^{-4}$ Гц/см². Получен положительный эффект для скорости счёта одиночных электронов на уровне более 7 стандартных отклонений. Результаты согласуются с гипотезой о том, что скрытые фотоны являются источником необъяснённого до сих пор наблюдаемого темного тока.



А.В.Копылов, И.В.Орехов, В.В.Петухов, arXiv:1706.03933; 1706.04359

За период наблюдения за Галактикой по данным Артёмовского Сцинтилляционного 100-тонного Детектора (АСД) с ноября 1977г. по июль 2017г. кандидатов на нейтринные вспышки от гравитационных коллапсов звёзд обнаружено не было. За 39.5 года работы получено ограничение на частоту гравитационных коллапсов менее, чем одно событие за 17.15 года на 90% уровне достоверности.

По данным работы Российско-итальянской установки LVD с 1992 по 2017 год (24.5 года) предел на частоту гравитационных коллапсов звёзд в Галактике составляет менее, чем одно событие за 10.64 года на 90% уровне достоверности.

Подготовлены статьи для публикации трудов Симпозиума «30 лет Сверхновой SN 1987A» в журнале Ядерная Физика:

Антоненко А.Г., Борщевский В.П., Еникеев Р.И., Очкас О.В., Рязская О.Г., Чернышов Л.В., Ярош А.П., Ярош Н.А. «Сорок лет Артёмовскому Сцинтилляционному детектору нейтрино»;

Агафонова Н.Ю., Ашихмин В.В., Добрынина Е.А., Еникеев Р.И., Мальгин А.С., Рязская О.Г., Шакирьянова И.Р., Якушев В.Ф. и Коллаборация LVD «Эксперимент LVD: 25 лет работы»;

Ашихмин В.В., Рязская О.Г. «Поиск нейтринного излучения от коллапсирующих звёзд с помощью детекторов LVD и БПСТ»;

Рязская О.Г. «Проблема нейтринного излучения от SN 1987A. Тридцать лет спустя»

Опубликованы результаты анализа сезонных модуляций нейтронов, генерированных мюонами космических лучей в подземном детекторе LVD (LNGS, Италия). На основе данных трёх башен LVD в течение 16 лет определены параметры вариаций нейтронов. Измерение удельного числа нейтронов (число нейтронов, генерированных мюонами космических лучей в 1 г/см^2 в веществе детектора) в летние и зимние периоды позволило определить величину вариации энергии мюонов.

Н.Ю. Агафонова и др. (Коллаборация LVD), Известия РАН. Сер. Физ., 2017, том 81, № 4, с. 551–554;

N. Yu. Agafonova (on behalf of the LVD Collaboration) in XXV ECRS 2016 Proceedings - eConf C16-09-04.3

Проведено тестирование модулей электромагнитного калориметра для установки ХАДЕС, предназначенной для исследования рождения векторных мезонов в адрон-ядерных и ядерно-ядерных взаимодействиях; проведена оценка амплитудного разрешения модулей при измерениях на космических мюонах.

Подготовлен и успешно проведён тестовый сеанс на установке NA61 по подготовке переднего адронного калориметра к физическим сеансам для исследования рождения адронов в адрон-ядерных и ядро-ядерных столкновениях на CERN SPS. Выполнена калибровка всех 45 модулей калориметра на пучке мюонов, исследован отклик калориметра (линейность и энергетическое разрешение) на пучках протонов в диапазоне энергий 20-150 ГэВ. Проведено тестирование опытных образцов аналоговой и цифровой электроники для считывания сигналов с модулей калориметра, которые планируется использовать не только в калориметре установки NA61, но и в передних адронных калориметрах будущих установок CBM и BM@N. Проведено исследование отклика модуля калориметра с использованием лавинных фотодиодов, облучённых различными потоками нейтронов вплоть до $3 \times 10^{12} \text{ н/см}^2$. Полученные результаты будут учитываться при разработке модернизированного калориметра для экспериментов на установке NA61 после 2020г. Предложена новая концепция калориметра, которая позволит использовать его в экспериментах при интенсивностях пучков в 10 раз превышающих интенсивность пучков ядер в текущих экспериментах. Проведено моделирование точности определения центральности и угла плоскости реакции для новой концепции калориметра.

Завершена работа по сборке модулей адронного калориметра установки CBM (исследование свойств сжатой барионной материи, GSI) в соответствии с заключённым ранее контрактом ФАИР – ИЯИ. Всего собрано 45 модулей. Продолжались работы по тестированию собранных модулей на космических лучах на специально собранном стенде. Для проверки качества собранных модулей проводятся измерения световых выходов всех 10 секций модуля. 9 модулей были отправлены в ЦЕРН, где из них собран супермодуль, отклик которого будет исследован на тестовом пучке T10 в диапазоне энергий протонов 2 – 6 ГэВ в сентябре 2017г. Для этого теста в Дубне была изготовлена аналоговая и цифровая электроника для считывания сигналов с этих 9 модулей калориметра. Тестирование этой электроники ведётся на стенде в ИЯИ. В июне проведено тестирование этой электроники на модуле переднего адронного калориметра установки NA61 во время тестового сеанса.

Продолжаются работы по моделированию калориметра на установке BM@N, на которой планируются использовать изготовленные в ИЯИ модули калориметра CBM.

Подготовлен Технический проект переднего адронного калориметра FHCAL для многоцелевого детектора MPD, предназначенного для исследования столкновений тяжёлых ионов на коллайдере NICA. Сравнение экспериментальных данных, полученных в тестах с низкими энергиями пучка, с результатами моделирования

показало хорошее соответствие экспериментальных и расчётных данных. Рассмотрена возможность включения адронного калориметра в глобальный триггер эксперимента для идентификации периферических столкновений ядер.

Изготовлены все компоненты модулей адронного калориметра; разрабатываются методы калибровки с помощью космических мюонов.

Подведены окончательные итоги первой серии экспозиции второй фазы эксперимента GERDA. Полученные результаты опубликованы в журнале Nature. Начата работа по организации следующего этапа эксперимента GERDA - созданию детектора с массой 200 кг обогащенного Ge (Large Enriched Germanium Experiment for Neutrinoless $\beta\beta$ Decay. (LEGEND).

GERDA collaboration "Background-free search for neutrinoless double- β decay of ^{76}Ge with GERDA" Nature 544 (2017) 47 (6 April 2017)

GERDA collaboration "Limits on uranium and thorium bulk content in Gerda Phase I detectors" Astroparticle Physics 91 (2017) 15-21

В коллаборации Double Chooz с участием сотрудников ИЯИ РАН продолжается набор статистики двумя детекторами в исследованиях осцилляций реакторных нейтрино.

По теме «Создание большого сцинтилляционного детектора в БНО ИЯИ РАН» разработана модель фона цепочек естественной радиоактивности, не находящихся в вековом равновесии. Фон состоит из восьми составляющих: ^{238}U , ^{232}Th , ^{222}Rn (все три внутренние и внешние), ^{40}K (только внешний) и фон черенковского света, вызванного электронами отдачи от рассеяния фоновых гамма-квантов в световодах. Получено хорошее описание экспериментального спектра фона жидкого сцинтиллятора, помещённого в пассивную защиту из меди. Проведены измерения содержания ^{14}C в двух образцах ЛАБ российского и китайского производства.

И. Р. Барабанов, Л. Б. Безруков, А.В. Вересникова и др., Измерение содержания ^{14}C в жидких сцинтилляторах при помощи детектора малого объёма в низкофоновой камере Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ РАН, отправлено в ЯФ.

В задаче определения массы электронного антинейтрино проведено исследование чувствительности анализа измеренного спектра криптона 83м к вариациям положения пика синусоидального типа. Исследованы систематические поправки при измерении спектра неупругих потерь электронов на молекуле водорода и подготовлены предложения по эксперименту. Проведена оценка чувствительности поиска тяжёлых стерильных нейтрино в интегральном и дифференциальном режиме. Исследована возможность регистрации электронов бета-распада трития с помощью микропиксельного лавинного фотодиода производства Zecotek Photonics Inc, Дубна; выполнен цикл калибровок нового прототипа такого детектора.

В эксперименте по прямому поиску тяжёлой компоненты нейтрино в кинематике радиоактивных распадов проведён сеанс измерений с тритием и получены пределы на существование стерильных нейтрино, которые лучше опубликованных в 2-5 раз.

В задаче поиска редких мюонных процессов с нарушением лептонных чисел (эксперимент Mu2e) разработана и изготовлена электроника, предназначенная для работы с различными детекторами в условиях высокого уровня электрических помех; изготовлен образец усилителя-формирователя и проведены тестовые измерения.

По теме «Исследование подпорогового рождения лёгких векторных мезонов и заряженных каонов в протон и фотоядерных реакциях» по просьбе редакции журнала

Progress in Particle and Nuclear Physics (Impact Factor 2016/2017-11.229) написан обзор: V.Metag, M.Nanova, E.Ya.Paryev / Meson-nucleus potentials and the search for meson-nucleus bound states, который получил хорошие отзывы от ведущих ученых в данной области исследований (из Германии, Испании, Австрии, Израиля, Японии).

В исследованиях по теме «Изучение роли собственной энергии в переходах нейтрон-антинейтрон. Осцилляции частиц в поглощающей среде. Регенерация каонов» показано что в области отвечающей применимости теории возмущений расчёты, основанные на точном решении и диаграммной технике, дают одинаковый результат.

V.I. Nazaruk, Regeneration of K^0 s mesons. arXiv:1705.08289 [hep-ph].

В разрабатываемой статистической модели образования каонов, гиперонов и гиперядер в аннигиляции антипротона на ядрах, с использованием разработанной программы, описывающей аннигиляцию медленных антинейтронов на ядрах углерода, созданы файлы с событиями для дальнейшего использования при проектировании детектора в международном эксперименте по поиску нейтрон-антинейтронных осцилляций на ESS (Швеция). Подготовлена публикация с описанием статистической модели поглощения медленного антинейтрона и анализом полученных результатов для ядер C и Ar.

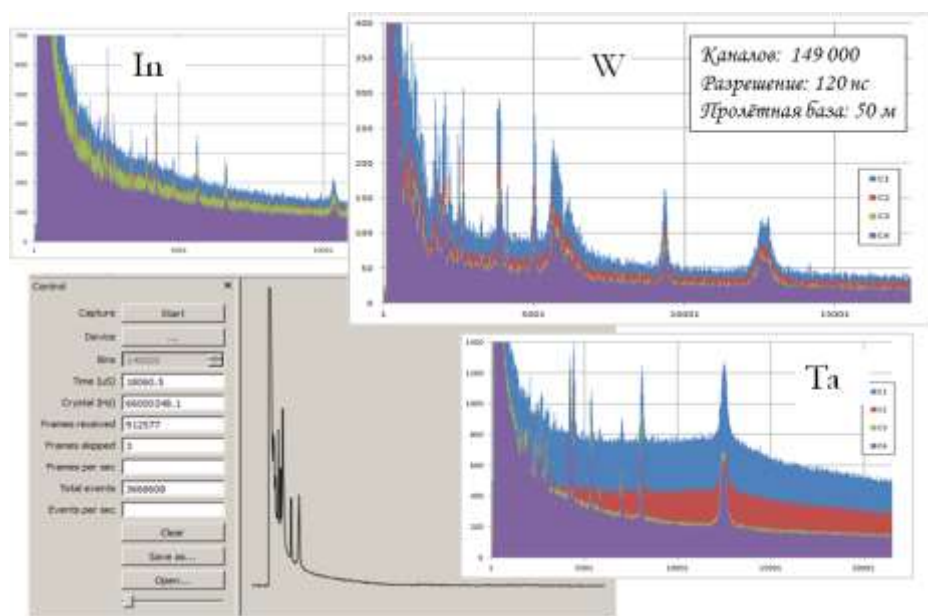
На основании полученных экспериментальных данных по релятивистским ядро-ядерным столкновениям на установке RHENIX (БНЛ, США), а также результатов Большого Адронного Коллайдера ЦЕРН, подготовлен электронный препринт и послана в печать статья:

V.S.Pantuev / Corona effect in AA collisions at LHC

Изучено влияние изменения размера квантованного скирмиона, или рескейлинга - расширения под действием центробежных сил, или сжатия при связывании тяжёлого флейвора - на спектр барионных состояний от нуклона до пентакварков со скрытым очарованием или прелестью. Рескейлинг приводит к уменьшению расщепления масс между нуклоном и Дельта-изобарой и изменению параметров модели, определённых в известных работах G.Adkins, C.Nappi, E.Witten (1983,1984). Рескейлинг существен для «очарованных» барионов, весьма важен для барионов, имеющих флейвор «прелесть», но приводит к относительно небольшим поправкам в случае странных барионов. Рассчитано влияние рескейлинга на массы пентакварков с положительной чётностью и «скрытым» флейвором (странностью, очарованием или прелестью). В случае ненарушенной киральной симметрии результаты численных расчётов подтверждены алгебраически.

Vladimir Kopeliovich, Irina Potashnikova / Rescaling of quantized skyrmions: from nucleon to baryons with heavy flavor // e-Print: **arXiv:1703.04373 [hep-th]** Submitted to Phys.Rev. D

Проведён анализ экспериментальных данных, полученных на времяпролётном нейтронном спектрометре РАДЭКС ИЯИ РАН в апреле 2016 года. Ток пучка протонов в импульсе длительностью ~ 1 мкс составлял 5-7 мА, частота 50 Гц, энергия 209 МэВ. Общее число временных каналов диагностического оборудования составляло 149000 с разрешением 120 нс/канал, пролётная база 50 метров. В сериях независимых измерений на мишенях из Индия, Вольфрама и Тантала впервые были получены спектры (n, γ) с хорошей повторяемостью и разрешающей способностью на пучке с микросекундной длительностью:



Спектры (n, γ) на мишенях из In, W и Ta.

Сотрудниками Группы перспективных фундаментальных и прикладных исследований Отдела экспериментальной физики создан и описан «Стенд для облучения электронных плат на линейном ускорителе протонов ИЯИ РАН: потоки частиц, активация и мощность дозы», получен патент «Радиохимический детектор плотности потока быстрых нейтронов». Принята к публикации статья «Геохронология и мониторинг космических лучей по накоплению космогенных изотопов ^{53}Mn , и ^{10}Be в земных породах»

С.Г.Лебедев, В.Э.Янц, патент РФ № 2 620 196 «РАДИОХИМИЧЕСКИЙ ДЕТЕКТОР ПЛОТНОСТИ ПОТОКА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНОВ»

V. E. Yants, S. G. Lebedev, N. M. Sobolevsky / Using of ^{53}Mn and ^{10}Be Cosmogenic Isotopes for Geochronology and Monitoring of Cosmic Rays in Terrestrial Rocks // Nuclear Science 2016; 1(1): 24-28.

Особую роль в проверке гипотезы о зарядовой симметрии (ЗС) ядерных сил играют исследования низкоэнергетических характеристик NN -взаимодействия в синглетном спиновом состоянии – длин рассеяния и энергий виртуального 1S_0 состояния NN -систем. Однако, извлечённые из экспериментов последних лет данные о величине нейтрон-нейтронной длины рассеяния имеют существенный разброс значений: от – 16 фм до –18.5 фм, что не даёт возможности однозначно ответить на вопрос о степени нарушения ЗС ядерных сил и даже о её знаке.

Проведён анализ данных полученных сотрудниками Лаборатории атомного ядра в реакции $nd \rightarrow pnn$ при энергии 40 МэВ и реакции $dd \rightarrow ppnn$, а также данных современных экспериментов по определению длины nn -рассеяния в реакции $nd \rightarrow pnn$. Обнаружена зависимость значений длин рассеяния от относительного импульса двухнейтронной системы и третьей заряженной частицы (протона или дипротона) при соответствующей кинематике реакции. Эта зависимость может быть объяснена в рамках Дибарионной модели NN -взаимодействия введением нового механизма - обмена скалярным σ -мезоном между дибарионом и заряженной частицей. При этом с увеличением эффективного расстояния между фрагментами сила взаимодействия уменьшается и в пределе стремится к нулю, а длина рассеяния к значению в отсутствие влияния на эту величину трехчастичного взаимодействия -15.5 фм.

Изучено влияние естественных и антропогенных факторов на изотопный состав атмосферных аэрозолей и их воздействие на окружающую среду. Определялось содержание стабильных нерадиоактивных и радиоактивных элементов и их изотопов в атмосферных аэрозолях и осадках. Пробы атмосферных выпадений вблизи земной поверхности отбирались регулярно в течение нескольких месяцев на стандартные марлевые планшеты размером 55 см x 55 см, расположенные горизонтально на разных высотах над поверхностью Земли, а пробы атмосферных аэрозолей отбирались на фильтры в фильтро-вентиляционной установке.

Измерения активности проб проводились с использованием низкофонового гамма-спектрометра, включающего детектор из сверхчистого германия, размещённый в низкофоновой камере с «пассивной» защитой. Получены временные зависимости активности нуклидов U и Th-рядов, ^7Be и ^{40}K в приповерхностном слое Земли.

Состав и содержание нерадиоактивных элементов в пробах определялся с помощью нейтронно-активационного анализа. Пробы облучались потоками нейтронов фотонейтронного источника ИН-ЛУЭ ИЯИ РАН на базе линейного ускорителя электронов. Измерения активности проб проводились также с использованием низкофонового гамма-спектрометра. Идентификация линий в активационных гамма-спектрах проб осуществлялась с помощью разработанных программ по измеренным значениям энергии и периода полураспада. Получены временные зависимости состава и содержания нерадиоактивных элементов в пробах атмосферных аэрозолей и наземных выпадений из атмосферы в приповерхностном слое Земли.

Разработана и проверена методика получения от ускорителя ЛУЭ-8-5 пучков электронов с энергией в интервале 4 – 9 МэВ с визуализацией результата на экране компьютера. Это позволяет в режиме on-line производить тонкую настройку и оперативный контроль параметров пучка, включающих в себя мгновенное значение тока пучка, средний ток, величину накопленного заряда и форму энергетического распределения для полного набора энергий.

В рамках работы по созданию стенда для измерения радиационно-защитных свойств материалов, использующихся при изготовлении средств индивидуальной защиты для персонала радиационно-опасных объектов, создан станок для исследования движущихся листовых материалов, просвечиваемых гамма-излучением. Потестировано лицензионное программное обеспечение, управляющее гамма-спектрометром, а также программное обеспечение, созданное сотрудниками Лаборатории атомного ядра.

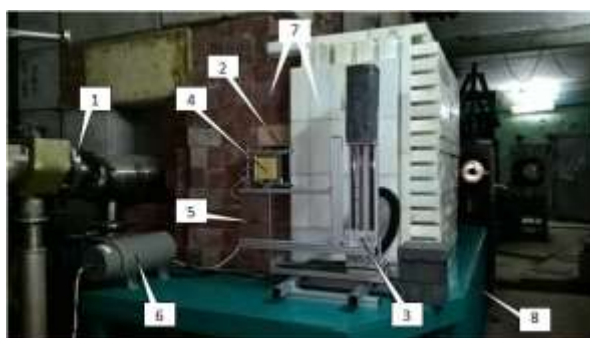
Во втором квартале 2017 года на сильноточном линейном ускорителе ИЯИ РАН проведён один сеанс продолжительностью около 500 часов. Сеанс был направлен на разработку технологии получения радиоизотопов и наработку изотопов, на исследования формирования пучка на создаваемом стенде для облучения изделий электронной техники, а также на исследования и модернизацию ускорителя. Нарботка ускорителя при работе в сильноточном режиме составила свыше 20000 мкА·часов при среднем токе пучка до 120 мкА и энергии 143 МэВ.

Выполнен значительный объем работ по модернизации систем ускорителя. В качестве примера приведем перечень основных работ, выполненных во втором квартале в лаборатории инжекторов и ионных источников:

- проведена доработка схемы высоковольтного ключа на тиристорах, предназначенного для замены тиратронов, используемых в схеме модулятора высоковольтного напряжения инжектора протонов;
- выполнена замена двух тиратронов тиристорными высоковольтными сборками;

- проведены испытания генератора высоковольтных импульсов инжектора протонов, в которых получена надежная работа установленных тиристорных сборок;
- выполнялись работы по монтажу стенда источника отрицательных ионов водорода для проведения испытаний источника ионов H^- новой конструкции;
- выполнен анализ схем деления на два пучка ускоренного до энергии 50-200 МэВ пучка ионов H^- с использованием газовой и тонкопленочной мишеней;
- проведены измерения эмиттанса пучка на выходе инжектора протонов с разной фокусировкой на входе ускорительной трубки, как начало работы по измерениям степени компенсации пространственного заряда пучка протонов с энергией 400 кэВ.

Продолжены работы по договору с ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» по теме Создание экспериментального стенда и исследование воздействия пучка протонов линейного ускорителя ИЯИ РАН на узлы радиоэлектронной аппаратуры»:



Расположение оборудования экспериментального стенда (1 - выводное окно, 2 – графитовый поглотитель, 3 – устройство двухкоординатного перемещения, 4 – мультианодный газовый счетчик, 5 – муляж облучаемого изделия, 6 – нейтронный детектор, 7 – защита, 8 – опора)



Пучок на экспериментальном стенде (1 – пятно от пучка на люминофоре, 2 – муляж облучаемого изделия)

В проведенном во втором квартале сеансе работы ускорителя на стенд подавался пучок с энергиями от 49 МэВ до 143 МэВ интенсивностью до 1 мкА.

Продолжены исследования ускоряющих структур с целью замены (модернизации) первого резонатора основной части ускорителя. В частности, проводились исследования мостовых устройств связи в резонаторе и их адаптация для применения с обоснованно предлагаемой структурой CDS. Проведен анализ предложения использования для первого резонатора кольцевой бипериодической структуры.

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. Завершена часть работ, связанная с выводом изготовленной в ИЯИ системы поперечного отклонения пучка PITZ TDS на проектные параметры.

Продолжены работы по теме «Разработка конструкции и ВЧ настройка резонатора дефлектора с минимизированным уровнем аббераций», выполняемой по соглашению с лабораторией ДЕЗИ, Гамбург, Германия. Методом 3D печати в ДЕЗИ, впервые изготовлены прототипы разработанных в ИЯИ петель ввода ВЧ мощности в сооружаемый резонатор дефлектор установки REGAE.

Выполнен первый этап работы по теме «Исследование стабильности источника электронов с высокой частотой посылок для исследовательской установки CLARA/VELA при медленном изменении параметров резонатора» по соглашению с лабораторией STFC, Даресбури, Англия.

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». Завершены лабораторные испытания, детектор подготовлен к отправке.

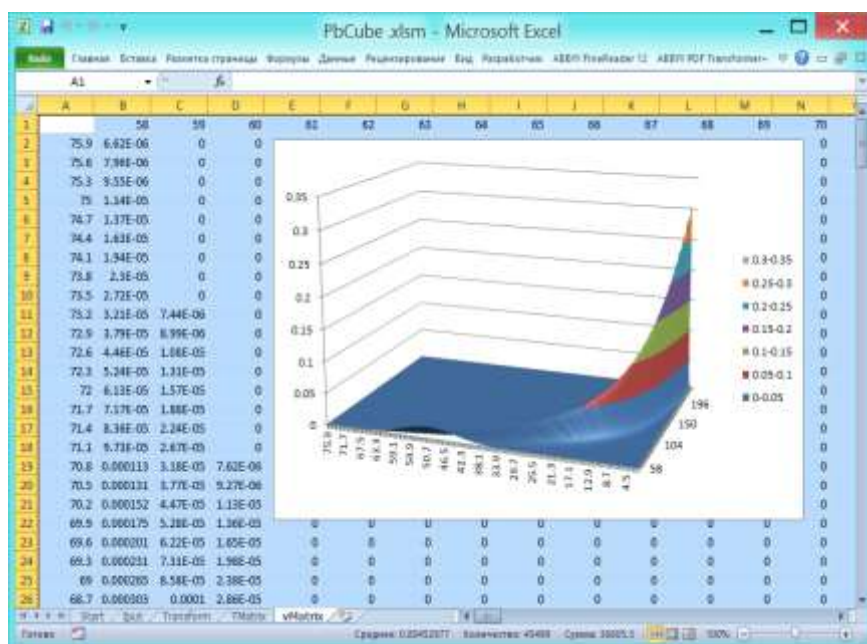
Продолжено выполнение НИР по соглашению между ИЯИ РАН и Европейским нейтронным источником ERIC, Швеция «Разработка, изготовление, поставка и наладка Измерителей Формы Сгустков (BSM) для линейного ускорителя Европейского нейтронного источника ESS». Продолжается изготовление оборудования.

Развит транспортный код SHIELD для моделирования потоков нейтронов и протонов, активации и мощности дозы в экспериментальных установках ИЯИ, расчётов взаимодействия терапевтических пучков протонов и лёгких ядер с тканеэквивалентными мишенями, расчётов потоков частиц и мощности дозы для оценки радиационных условий в космических аппаратах под действием космического излучения.

Проведено моделирование диффузии гелия в вольфраме в широком спектре температур. Показано, что термическая диффузия следует закону Аррениуса только при достаточно низких температурах (<500 K):

Haohua Wen, **A. A Semenov** and C. H. Woo “Many-body effects in the mobility and diffusivity of interstitial solute in a crystalline solid: The case of helium in BCC tungsten”, которая была принята для публикации в Journal of Nuclear Materials: DOI: 10.1016/j.jnucmat.2017.05.053.

В работах по развитию экспериментальной базы нейтронных исследований определена идеализированная функция отклика спектрометра СВЗ в дискретном случае в виде матрицы (1801x1801), энергетический диапазон 3эВ -- 50эВ:



Идеализированная функция отклика спектрометра СВЗ.

По результатам сеанса на ИН-06 в 2016 г. подготовлена для публикации статья в

журнал «Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования».

Проведена калибровка детекторов нейтронов с помощью ^{252}Cf -источника нейтронов для усовершенствования системы регистрации нейтронов - создание программного дискриминатора по форме импульса.

Изготовлен макет большого ZnS - сцинтилляционного детектора нейтронов.

Статья «КОЛЬЦЕВОЙ ДЕТЕКТОР НЕЙТРОНОВ ДЛЯ ВРЕМЯПРОЛЕТНОГО ДИФРАКТОМЕТРА, СОСТОЯЩИЙ ИЗ ЛИНЕЙНЫХ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ ДЕТЕКТОРОВ НА ОСНОВЕ КРЕМНИЕ-ВЫХ ФОТОУМНОЖИТЕЛЕЙ» направлена в журнал «Приборы и техника эксперимента»

Ведется разработка проекта установки глубокого неупругого рассеяния эпитепловых нейтронов для исследования динамики конденсированных сред на импульсном источнике нейтронов РАДЭКС ИЯИ РАН.

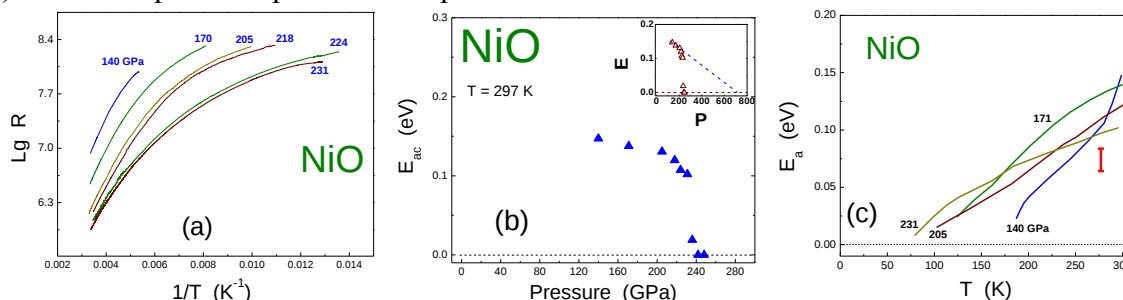
Опубликованы статьи на основе экспериментов, проведённых в ISIS (UK) на установке VESUVIO:

Сырых Г., Орекини А., де Франческо А., Лалони А., Столяров А. / Исследование акустических и оптических колебательных мод в металлическом стекле $\text{Zr}_{40}\text{Be}_{60}$ // Письма в ЖЭТФ, №105_8_17, с.488-491.

Сырых Г.Ф., Столяров А.А., Крыстинык М., Романелли Д., Садыков Р.А. / Температурная зависимость кинетической энергии в аморфном сплаве $\text{Zr}_{40}\text{Be}_{60}$ // Письма в ЖЭТФ, 2017, №105_9_17, с.591-594.

В исследовании конденсированных сред:

1. В NiO было обнаружено, что температурные зависимости сопротивления при всех фиксированных давлениях ниже перехода изолятор-металл ($P < 240$ ГПа) существенно отклоняются от активационного закона Аррениуса, они также не подчиняются и закону Мотта для прыжковой проводимости. Нужно учитывать зависимость энергии активации E_a не только от давления, но и от температуры. При этом оказалось, что энергия активации $E_a(T)$ стремится к нулю при $T \rightarrow 0$ для всех давлений ниже перехода изолятор-металл. Окончательное практическое обнуление $E_a(T)$ вблизи перехода происходит при $T \sim 77$ К.



Эволюция (a) температурной зависимости электросопротивления R в кристалле NiO с ростом давления. Барическая зависимость (b) величины энергии активации E_a в кристалле NiO , рассчитанной вблизи комнатной температуры. Зависимости (c) величины энергии активации E_a в кристалле NiO от температуры для некоторых величин давлений в диапазоне 140 < P < 231 ГПа, рассчитанные из экспериментальных температурных кривых сопротивления в приближении закона Аррениуса и переменной величины энергии активации. Барями указана статистическая погрешность при определении величины E_a .

2. Методом синхротронной мёссбауэровской спектроскопии в камерах высокого давления с алмазными наковальнями в диапазоне температур 4.2 – 295 К изучены магнитные свойства нового мультиферроика из семейства лангаситов - $\text{Ba}_3\text{TaFe}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$. При давлениях около 20 ГПа для этого вещества экспериментально установлено сильное возрастание величины температуры Нееля, связанное со структурным фазовым переходом. При этом достигнута максимальная величина температуры Нееля - 130 К, что почти в 5 раз превосходит соответствующую величину при атмосферном давлении (около 27 К). Значительное увеличение температуры Нееля предположительно может происходить вследствие перераспределения ионов Fe^{3+} между 3f и 2d тетраэдрическими позициями в структуре лангасита. В этом случае происходит

уменьшение межатомные расстояния Fe-O и изменения углов связей Fe-O-Fe, что создаёт благоприятные условия для сильных сверхобменных взаимодействий между ионами железа и приводит к значительному магнитному упорядочению в *ab*-слоях кристаллической структуры. Было установлено, что происходит расслоение образца на две магнитные фазы с различными значениями температуры Нееля 50 и 130 К, что может объясняться разницей между сильным двухмерным магнитным упорядочением в плоскости *ab* и 3-х мерным упорядочением межплоскостных взаимодействий.

I. S. Lyubutin, S. S. Starchikov, A. G. Gavriluk, I. A. Troyan, Yu. A. Nikiforova, A. G. Ivanova, A.I. Chumakov, R. Rüffer, "Magnetic phase separation and strong enhancement of the Neel temperature at high pressures in a new multiferroic $\text{Ba}_3\text{TaFe}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ ", JETP Letters 105(1), (2017).

3. Выполнено синхротронное рентгенодифракционное исследование структурных характеристик $\text{Ba}_3\text{NbFe}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ лангасита при гидростатических давлениях до 60 ГПа в камерах с алмазными наковальнями. При давлениях 10 и 54 ГПа были сняты и проанализированы мёссбауэровские спектры и спектры оптического поглощения соответственно. В результате комплексного исследования методами рентгеновской дифракции, мёссбауэровской спектроскопии и спектроскопии оптического поглощения было установлено три фазовых перехода при давлениях ~3, ~20, и ~41 ГПа. Первый фазовый переход связан с небольшими смещениями наиболее лёгких атомов кислорода, что приводит к увеличению локальной симметрии кислородного окружения вокруг атомов железа, при этом происходит уменьшение объёма элементарной ячейки на 1.5%. Второй фазовый переход при ~20 ГПа приводит к существенному изменению *a* и *c* - параметров элементарной ячейки и скачкообразному уменьшению объёма на 7%. Значительное уменьшение параметра *c* при этом структурном переходе приводит к сильному возрастанию величины параметра спинового обмена между ионами Fe^{3+} из соседних слоёв, параллельных *ab*, что в свою очередь приводит к увеличению температуры Нееля, наблюдаемому для этого кристалла при 20 ГПа. При 38-44 ГПа по рентгеноструктурным данным наблюдаются слабая аномалия изменения объёма от давления, однако по результатам спектроскопических исследований наблюдаются существенные изменения величины оптической щели и параметра квадрупольного расщепления.

Yu. A. Nikiforova, A. G. Gavriluk, I. S. Lyubutin, A. G. Ivanova, I. A. Troyan, S. S. Starchikov, S. N. Aksenov, V. V. Struzhkin, S. N. Sul'yanov and K. V. Glazyrin, "Structural transitions in iron-based $\text{Ba}_3\text{NbFe}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ langasite at high pressures", EPL 116, 66003 (published online 16 February 2017).

4. В металлическом дихалькогениде TaSe_2 проведено тщательное исследование взаимовлияния и конкуренции состояния волны зарядовой плотности (CDW - charge density wave) с состоянием сверхпроводимости. Было показано, что межслоевые взаимодействия играют критическую роль в подавлении CDW состояния и усилении сверхпроводимости сжатом состоянии TaSe_2 выше 20 ГПа.

Jianjun Ying, Xiao-jia Chen, Naizhou Wang, Xianhui Chen, Alexander Gavriluk, Ivan I. Naumov, Russell J. Hemley, Igor I. Mazin and Viktor V. Struzhkin, "Fermi surface reconstruction in 2H- TaSe_2 under high pressure mediated by interlayer interaction", *submitted to Nature Communications* (2017).

5. Структуру олова Sn и Sn-H₂ системы исследовали методом рентгеновской дифракции под действием высокого давления (станция P02 синхротрона PETRA-III в DESY). Наш эксперимент до 230 ГПа вместе с результатами, полученными ранее, указывают на начало фазового перехода от Sn-ОЦК к структуре Sn-ГПУ вблизи 160 ГПа. Обе фазы сосуществуют в диапазоне давлений 160-230 ГПа при комнатной температуре. Таким образом, переход имеет очень медленную кинетику.

A. G. Gavriluk, I. A. Trojan, A. G. Ivanova, S. N. Aksenov, Yu. Nikiforova, "Structural properties and phase compositions of tin hydrides SnH_x at high pressures 150-250 GPa", PETRA-III experiment DESY Report (2017).

Проведены дифракционные исследования монокристаллов бромида калия в геометрии Лауэ и в геометрии Брэгга. Обнаружено отличие регулярной структуры

поверхности и регулярной структуры внутренней области монокристаллов. Предложен метод измерения когерентной амплитуды при дифракции нейтронов.

25-th International Seminar on Interaction of Neutrons with Nuclei: "Fundamental Interactions & Neutrons, Nuclear Structure, Ultracold Neutrons, Related Topics". (poster № 34. **Kuznetsov V.L., Kuznetsova E.V., Sedyshev P.V.** *Measurements of the coherent neutron amplitude of scattering in the diffraction.*), Dubna, Russia, May 22-26, 2017 <http://isinn.jinr.ru/>

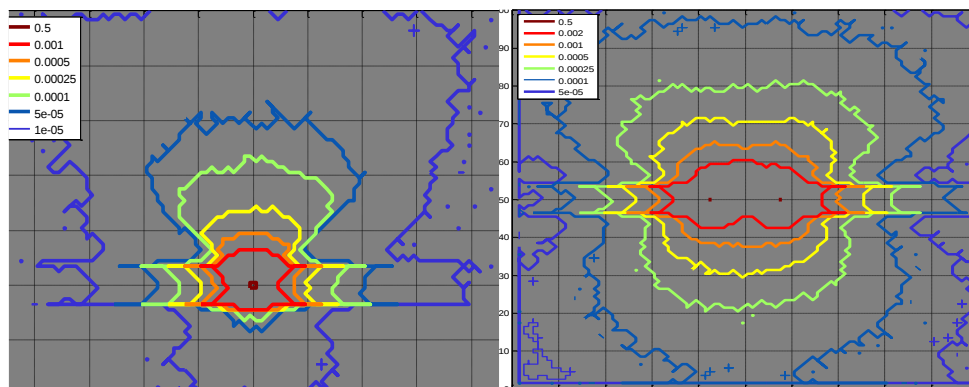
Для корректной обработки экспериментального материала, получаемого на 1-ом канале ИБР-2м, выполнены исследования временных характеристик импульсного источника нейтронов ИБР-2.

25-th International Seminar on Interaction of Neutrons with Nuclei: "Fundamental Interactions & Neutrons, Nuclear Structure, Ultracold Neutrons, Related Topics" (poster № 33. **Kuznetsov V.L., Kuznetsova E.V., Sedyshev P.V.** *The characteristics of the neutron beam of 1-st channel of pulsed reactor IBR-2.*), Dubna, Russia, May 22-26, 2017 <http://isinn.jinr.ru/>

Разработан принципиально новый метод измерения времени жизни нейтрона, свободный от многих систематических погрешностей измерений.

25-th International Seminar on Interaction of Neutrons with Nuclei: "Fundamental Interactions & Neutrons, Nuclear Structure, Ultracold Neutrons, Related Topics" (poster № 35. **Kuznetsov V.L., Kuznetsova E.V., Sedyshev P.V.** *The method of measuring of the neutron lifetime on pulsed neutron sources.*), Dubna, Russia, May 22-26, 2017 <http://isinn.jinr.ru/>

По теме «Разработка технологии производства нового источника для брахитерапии на основе иттербия» были рассчитаны по Монте–Карло дозовые распределения в среде от иттербиевых источников новой конструкции для облучения внутриполостных опухолей. Была показана возможность существенно повысить качество лучевой терапии при облучении опухолей вагинальной и ректальной областей за счёт экранирования новых иттербиевых источников. Результаты расчётов для этих локализаций показаны на рисунке, где сравниваются доза в среде для одинаковых аппликаторов при использовании нового источника с изотопом Yb-169 (слева) и обычного источника с изотопом Ir-192 (справа).



Из рисунка следует, что вольфрамовый экран толщиной 2 -3 мм позволяет при использовании иттербиевых источников защитить от облучения соседние здоровые органы (предполагается, что облучаемый очаг расположен сверху от аппликатора).

Результаты исследований доложены на Международной конференции по радиационным технологиям RAD-17 (Черногория, июнь 2017 г.)

Учёный секретарь ИЯИ РАН А.Д.Селидовкин