

ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ им. И. М. ФРАНКА

Научная программа Лаборатории нейтронной физики им. И. М. Франка в 2011 г. охватывала четыре темы Проблемно-тематического плана научно-исследовательских работ и международного научно-технического сотрудничества ОИЯИ. Она была направлена на получение новых результатов по физике конденсированных сред (тема «Исследования наносистем и новых материалов с использованием рассеяния нейтронов», 04-4-1069-2009/2014, руководители В. Л. Аксенов, А. М. Балагуров и Д. П. Козленко); по нейтронной ядерной физике (тема «Исследования в области нейтронной ядерной физики»,

03-4-1104-2011/2013, руководители В. Н. Швецов и Ю. Н. Копач). Для обеспечения физических исследований осуществлялось развитие и создание базовых установок лаборатории: ИБР-2 (тема «Развитие реактора ИБР-2М с комплексом криогенных замедлителей нейтронов», 04-4-1075-2009/2014, руководители А. В. Белушкин и А. В. Виноградов), а также развитие комплекса спектрометров ИБР-2 (тема «Перспективные разработки и создание оборудования для спектрометров ИБР-2М», 04-4-1075-2009/2014, руководители В. И. Приходько и С. А. Куликов).

НЕЙТРОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД

В первой половине 2011 г. во время физического пуска модернизированного реактора ИБР-2 научная экспериментальная работа сотрудников НЭОНИКС проводилась в нейтронных и синхротронных центрах в России и за рубежом. Она осуществлялась согласно существующим соглашениям о сотрудничестве, а также в соответствии с принятыми заявками на эксперимент. Во второй половине 2011 г. в период энергетического пуска реактора на спектрометрах ИБР-2 начаты первые методические и экспериментальные работы. Также проводились работы по модернизации существующих и созданию новых спектрометров в соответствии с планами развития комплекса спектрометров реактора ИБР-2.

Научные результаты. Проведено исследование эффектов структурного разупорядочения в образцах мелкокристаллических ВТСП $YBa_2Cu_3O_y$ с различными средними размерами кристаллитов $\langle D \rangle$ в диапазоне 0,4–2 мкм и с содержанием кислорода $y = 6,93 \pm 0,03$, имеющих примерно одинаковую температуру сверхпроводящего перехода $T_C \approx 92$ К, с помощью дифракции нейтронов (рис. 1) [1]. Установлено, что при уменьшении размеров зерен (т. е. увеличении степени неравновесности условий синтеза) содержание кислорода в позиции O5 увеличивается

в несколько раз по сравнению с равновесным крупнокристаллическим состоянием. Полученные результаты позволили дать объяснения необычным физическим свойствам мелкокристаллических $YBa_2Cu_3O_y$, в частности, эффекту сосуществования высоких значений T_C и значительно пониженных значений намагниченности в сильных магнитных полях при $T < T_C$. Показано, что в мелкокристаллических образцах $YBa_2Cu_3O_y$ с оптимальным содержанием кислорода реализуется наномасштабная структурная неоднородность, приводящая к изменениям фундаментальных сверхпроводящих параметров — глубины проникновения магнитного поля и длины когерентности.

Проведено исследование атомной и магнитной структуры мультиферроика $BiFeO_3$ при воздействии высоких давлений до 9 ГПа [2]. При $P \sim 3$ ГПа обнаружен структурный переход из ромбоэдрической фазы симметрии $R3c$ (сегнетоэлектрической) в орторомбическую фазу $Pbam$ (антисегнетоэлектрическую). АФМ-состояние с симметрией расположения магнитных моментов G-типа остается стабильным под давлением, однако его характер меняется с неколлинеарного (вектор распространения $k = (\delta, \delta, 0)$, $\delta \sim 0,004$) на коллинеарный ($\delta \sim 0,0$).

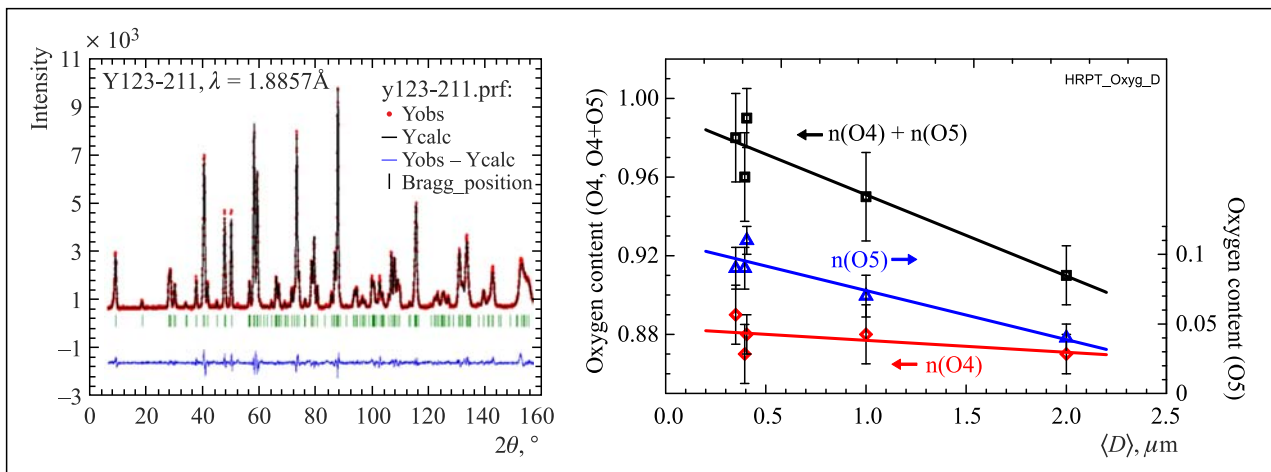


Рис. 1. Слева: измеренный на HRPT (PSI, Швейцария) и обработанный по методу Ритвельда дифракционный спектр образца $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$, отожженного при 930°C , со средним размером кристаллитов $\langle D \rangle = 2$ мкм. Справа: факторы заполнения позиций O4 (левая шкала), O5 (правая шкала) и их сумма (левая шкала) как функции среднего размера кристаллитов. Указаны статистические ошибки точек. Линии проведены с использованием метода наименьших квадратов

В рамках изучения магнитных наночастиц медико-биологического назначения методом малоуглового рассеяния нейтронов исследованы порошки магнитных наночастиц, покрытых блоксополимерами на основе замещенных пирролов для повышения биосовместимости [3]. Обнаружено, что структура образующегося осадка строго зависит от вида стабилизирующей оболочки в исходной магнитной жидкости. Для систем, стабилизированных изначально с использованием додецилбензолсульфоновой кислоты, рассеяние в конечных образцах соответствует отдельным полидисперсным частицам с нерегулярной поверхностью. Для систем с начальной стабилизацией посредством лауриновой кислоты экспериментальные кривые дополнительно модулируются рассеянием на квазикристаллической структуре с характерной длиной корреляции 10 нм. Различия в структурной организации исследованных порошков объясняются разной степенью полимерного покрытия магнитных наночастиц, которая определяется адсорбционными свойствами последних в отношении поверхностно-активных веществ в магнитных жидкостях.

Проведено комплексное исследование раствора C_{60}/N -метил-2-пирролидон (НМП) и его смесей с растворителями разной полярности различными методами, включая малоугловое рассеяние нейтронов, УВ-вид-спектроскопию, масс-спектрометрию. Показано, что основной вклад во временной сольватохромизм в $\text{C}_{60}/\text{NМП}$ (изменение спектра поглощения с возрастом раствора) вносит изменение во времени донорно-акцепторных комплексов фуллерен-растворитель. Тем не менее образование с течением времени в данной системе кластеров фуллеренов косвенно проявляется как в сольватохромизме, так и в других различных эффектах, в частности, оно

влияет на содержание остаточного НМП в осадке, получаемом при выпаривании раствора на разных стадиях его эволюции после приготовления. Предложено теоретическое описание кинетики роста кластеров в $\text{C}_{60}/\text{NМП}$ [4]. Разработанная модель учитывает процессы растворения фуллерена, образования комплексов C_{60} с молекулами растворителя (НМП) и медленный рост кластеров из новых комплексов.

Проведено исследование ультраструктуры внутренней мембраны митохондрий и формирования в ней суперкомплексов из ферментов системы окислительного фосфорилирования, а также влияния на них тоничности среды инкубации [5]. Выполнен поиск суперкомплексов и условий их формирования из ферментов системы окислительного фосфорилирования: АТФ-синтазы, ферментов дыхательной цепи, транслокатора нуклеотидов. Для этого была применена методика двойного ингибиторного титрования. Зарегистрировано формирование ферментативных комплексов в митохондриях.

Исследовано явление нейтронного магнитного резонанса при отражении нейтронов от пленки из пермаллоя (80 % Ni + 20 % Fe) толщиной 0,5 мкм. На пленку в ее плоскости накладывались статическое магнитное поле напряженностью 20 Э и перпендикулярное ему осциллирующее магнитное поле напряженностью 10 Э. При частоте осциллирующего магнитного поля 26,2 МГц уменьшалась интенсивность зеркально отраженного пучка нейтронов и появлялось незеркальное отражение. Резонанс, как известно, наступает при совпадении частоты осциллирующего магнитного поля с частотой прецессии магнитного момента нейтрона (спина нейтрона) вокруг вектора индукции магнитного поля. Частоте 26,2 МГц соответствует значение индукции 0,899 Тл. Магнитометрические измерения показали, что такое значение индукции соответствует индукции насыще-

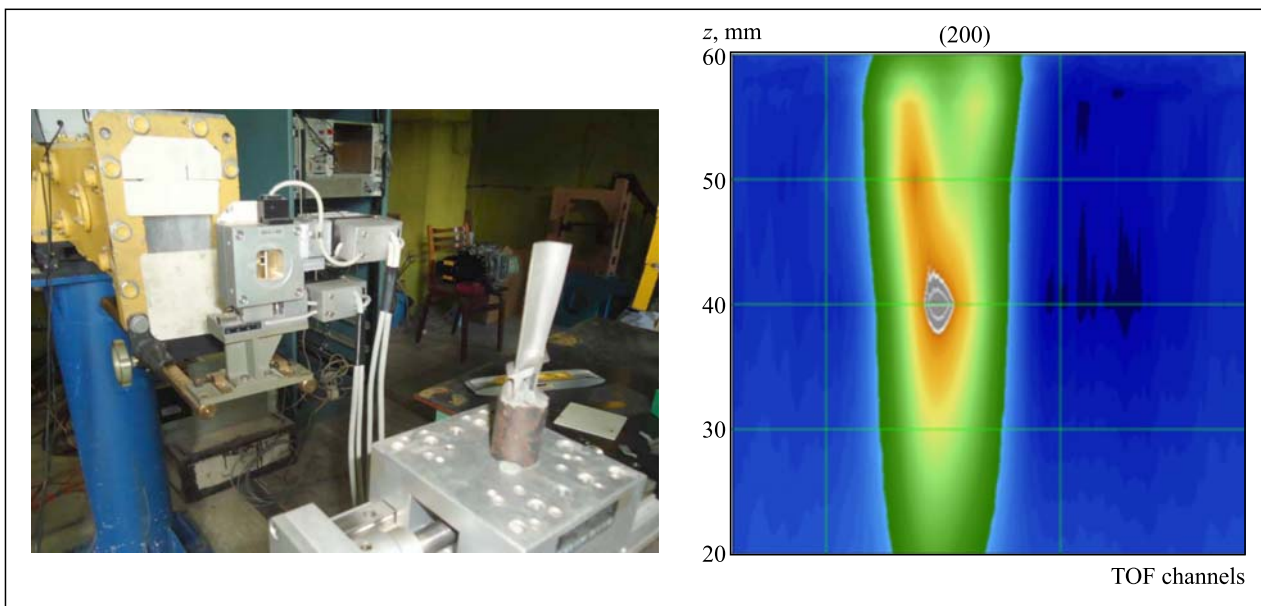


Рис. 2. Слева: турбинная лопатка, установленная на гониометре дифрактометра ФСД, для эксперимента по анализу ее микроструктуры. Справа: 2D-сечение окрестности дифракционного пика (200), показывающее его сложную топологию. В частности, видно наличие зерна с другой, чем у основной матрицы, ориентацией

ния, которое существует в доменах. Таким образом, также показано, что с помощью рассеяния нейтронов можно одновременно измерять среднее значение вектора индукции, обусловленное угловым распределением его направления в доменах, и индукцию насыщения.

Проведены эксперименты по изучению микроструктуры монокристаллической турбинной лопатки, изготовленной из жаропрочного никелевого сплава ЖС-32. Монокристаллические лопатки из различных материалов используются в двигателях самолетов, производимых в НПО «Сатурн» (Рыбинск, Россия). Исследование опытного образца турбинной лопатки проведено на дифрактометре ФСД и на радиографической станции реактора ИР-8 в НИЦ КИ. Была выявлена сложная топология окрестностей дифракционных пиков и наличие «паразитного» монокристаллического зерна с другой, чем у основной матрицы ориентацией, выходящего на поверхность лопатки (рис. 2). Полученные дифракционные данные хорошо согласуются с результатами, полученными методами нейтронной радиографии и топографии в НИЦ КИ.

Продолжен сравнительный анализ результатов нейтронографического текстурного анализа, лабораторных акустических измерений образцов биотитовых гнейсов из научной скважины Оутокумпу (Финляндия) с данными сейсмического каротажа скважины. Было высказано предположение, что причиной зон повышенного сейсмического отражения на контактах биотитовых гнейсов и пегматитовых гранитов, обнаруженных на глубине 1500 м, является преимущественная ориентировка зерен биотита в биотитовых гнейсах. Подтвердить это предположе-

ние поможет измерение текстур на модифицированном дифрактометре СКАТ (ЛНФ) на большей серии образцов, включая образцы из зон повышенного сейсмического отражения скважины Оутокумпу.

Проведено исследование фоновых спектров кобальтита LaCoO_3 в диапазоне температур 4–120 К методом неупругого рассеяния нейтронов [6]. Для анализа экспериментальных данных проведены квантовохимические расчеты фонового спектра из первых принципов. Получено хорошее согласие расчетных и экспериментальных значений частот фононных мод. Исследовано поведение плотности фононных состояний в области спинового перехода. Обнаружены аномалии на температурных зависимостях частот оптических фононных мод в области спинового перехода.

Методические результаты. С начала энергетического пуска модернизированного реактора ИБР-2 введены в эксплуатацию спектрометры ЮМО, ФДВР, РЕМУР, РЕФЛЕКС, ФСД, ДН-12, ДИН-2ПИ, на которых завершены работы по плановой модернизации, проведены первые методические и экспериментальные работы.

Продолжены работы по созданию нового дифрактометра для исследования микрообразцов ДН-6 на канале 6Б реактора ИБР-2. Установлен на штатное место прерыватель пучка. Завершено изготовление зеркал для хвостовой части нейтронновода. Сборку хвостовой части нейтронновода планируется закончить в третьем квартале 2012 г. Завершается изготовление механических узлов дифрактометра. В отделе НЭОКС изготовлен газовый ПЧД-детектор для дифрактометра ДН-6.

Продолжены работы по созданию нового многофункционального рефлектометра GRAINS на реакторе ИБР-2М, канал 10. Изготовлен и установлен на штатное место в экспериментальном зале реактора фоновый прерыватель нейтронов барабанного типа с горизонтальной щелью. Установлена на штатное место система формирования пучка, включающая автоматические апертуры, зеркальный дефлектор, зеркальный поляризатор, ведущую магнитную систему. Изготовлена автономная вакуумная система рефлектометра. Изготовлен пер-

вый спин-флиппер. Приобретена антивибрационная платформа для столика образца. Начата работа по изготовлению платформы детекторного узла и жидкостной ячейки для рефлектометрических измерений.

Проведено комплексное переоснащение рефлектометра РЕФЛЕКС, включая запуск новой системы управления, новой электроники сбора и накопления данных. Начата работа по аналитическому описанию работы спин-эхо-установки с вращающимися магнитными полями.

НЕЙТРОННАЯ ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

Проведен эксперимент по измерению вероятности квазиупругого рассеяния УХН («малого нагрева» УХН) при отражении их от поверхности безводородного масла фомблин. Измерена температурная зависимость этой вероятности. Сейчас существуют две гипотезы, объясняющие это явление, — рассеяние УХН на капиллярных волнах и рассеяние УХН на нанокплях, образующихся вблизи поверхности жидкости. Возможно, что полученных данных окажется достаточно, чтобы однозначно установить причину явления квазиупругого рассеяния УХН на поверхности жидкости. Для этого необходимо провести дополнительные расчеты температурной зависимости рассеяния УХН на капиллярных волнах. Показано, что в ряде экспериментов по измерению времени жизни нейтрона необходимо внесение поправок, связанных с квазиупругим рассеянием УХН [7].

На пучке холодных поляризованных нейтронов PF1В реактора ILL (Гренобль, Франция) были проведены измерения P -нечетной асимметрии в радиационном сечении на естественном свинце. Эксперимент проводится с целью получения дополнительной информации для объяснения аномально большой величины поворота спина нейтронов в измерениях пропускания поперечно-поляризованных нейтронов через образец. Для уменьшения влияния флуктуаций мощности реактора применялась интегральная методика при частотах переключения поляризации нейтронов (8,3 Гц) выше основных частот спектра нейтронных шумов реактора. Измерения с образцом проводились в течение 10 сут, «нулевой» эксперимент — 6,5 сут. С учетом «0-теста» эффект асимметрии составил $a_\gamma(\text{natPb}) = (2,3 \pm 3,5) \cdot 10^{-7}$, или на 90 %-м уровне достоверности $\alpha_\gamma \leq 8,1 \cdot 10^{-7}$. Для проведения совместного анализа p -нечетных эффектов на свинце достигнутой точности пока недостаточно [8].

Совместно с ЕС-JRC-IRMM (Бельгия) и ЛИТ ОИЯИ проведены исследования спонтанного деления ядер, вызванного быстрыми нейтронами. С целью исследования формирования сигналов, индуцированных осколками деления, были проведены рас-

четы электростатических полей между электродами двойной ионизационной камеры с сетками Фриша. Эти расчеты позволили модифицировать процедуры цифровой обработки сигналов. В результате удалось получить более детальные данные о вибрационных резонансах в реакции $^{234}\text{U}(n, f)$ и уточнить данные о процессе испускания мгновенных нейтронов деления в реакции $^{252}\text{Cf}(sf)$ [9].

В рамках сотрудничества ОИЯИ–ТУ (Прага) проводился ряд экспериментов по исследованию свойств пиксельных кремниевых детекторов семейства Medipix и возможности их применения для измерения тяжелых заряженных частиц, в частности, для поиска и изучения редких мод деления ядер. Были проведены измерения осколков деления и альфа-частиц в спонтанном делении ^{252}Cf с использованием нескольких детекторов Timerix и Medipix-2, включенных в схему совпадения, в частности, с применением специально разработанного для этих измерений стартового модуля. Продемонстрирована возможность измерения тройного деления таким методом, получен пространственный образ источника осколков деления с разрешением в несколько десятков микрон [10].

Были продолжены экспериментальные и теоретические исследования реакций (нейтрон, заряженная частица) на быстрых нейтронах. Измерения проводятся на ускорителях Ван-де-Граафа ЭГ-5 в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ и ЭГ-4.5 Института физики тяжелых ионов Пекинского университета. Данные о реакциях с вылетом заряженных частиц, вызванных быстрыми нейтронами, представляют значительный интерес для изучения механизмов ядерных реакций, структуры атомных ядер, выбора конструкционных материалов и проведения расчетов при создании новых установок для ядерной энергетики. Проведены измерения реакции $\text{natMg}(n, \alpha)$ при $E_n \sim 4,0\text{--}6,5$ МэВ. Завершена обработка данных из измерений реакции $^{149}\text{Sm}(n, \alpha)^{146}\text{Nd}$, выполненных при энергии нейтронов между 4,5 и 6,5 МэВ. Данные о сечениях и угловых распределениях для этой области энергии нейтронов полу-

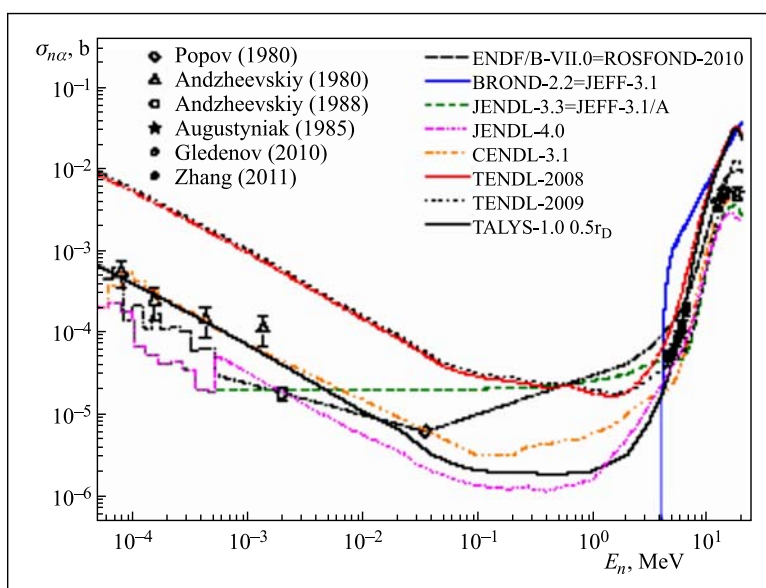


Рис. 3. Сечение реакции $^{149}\text{Sm}(n, \alpha)^{146}\text{Nd}$ в сравнении с оценками библиотек ядерных данных и расчетами по компьютерной программе TALYS-1.0

чены впервые, проведено сравнение с имеющимися оценками и теоретическими моделями (рис. 3) [11].

В рамках широкой международной коллаборации на базе ОИЯИ выполняется проект «Энергия и Трансмутация Радиоактивных Отходов» («Е и Т РАО»). В 2011 г. с использованием новой подкритической сборки КВИНТА, состоящей из 500 кг естественного металлического урана, были измерены распределения нейтронных потоков, скоростей деления и наработки ^{239}Pu , а также временная зависимость выхода запаздывающих нейтронов после облучения сборки импульсным пучком дейтронов нуклофона ОИЯИ в интервале энергий $E_d = 2\text{--}6$ ГэВ. Была подтверждена обнаруженная в экспериментах 2010 г. тенденция роста средней энергии нейтронов $\langle E_n \rangle$, вызывающих деление ядер ^{238}U внутри сборки, при увеличении энергии падающих дейтронов. Величина $\langle E_n \rangle$ достигла ~ 30 МэВ при $E_d = 6$ ГэВ. Было установлено (с погрешностью 10–15%), что интегральные числа делений в сборке растут, по крайней мере, линейно с увеличением E_d , тогда как относительный полный выход запаздывающих нейтронов, образованных при делении ядер сборки, увеличился примерно в шесть раз при росте значения E_d от 2 до 6 ГэВ [12].

Рассмотрены возможные нейтронные эксперименты для поиска новых спин-зависимых короткодействующих сил. Спин-зависимое нуклон-нуклонное взаимодействие нейтронов с ядрами может быть причиной различных эффектов: фазового сдвига нейтронной волны в нейтронных интерферометрах различных видов, это, в частности, конфигурации лloyd-зеркало, вращение спина нейтрона в псевдомагнитном поле, и поперечного отклонения пучка поляризованных нейтронов при прохождении

через слой вещества. Проведены оценки чувствительности этих экспериментов [13].

На импульсном источнике резонансных нейтронов ИРЕН ЛНФ проводились работы по развитию и применению методов элементного и изотопного анализа с использованием нейтронной спектromетрии. Посредством измерений пропускания нейтронов через образцы был проведен анализ содержания бора в керамиках из нанокompозитных материалов, изготовленных в Белорусском государственном университете (Минск). Совместно с Государственным астрономическим институтом им. П. К. Штернберга МГУ методом резонансной спектromетрии исследовались объекты предположительно неземного происхождения. В пробе донных отложений ручья горного ледника Алтая обнаружено достаточно большое содержание железа. Работы продолжаются [14].

На пучках заряженных частиц ускорителя ЭГ-5 ЛНФ проводились систематические исследования глубинных профилей элементов в приповерхностных слоях конструкционных материалов с глубинным разрешением около 10 нм. Совместно с сотрудниками УМКС (Люблин, Польша) проведено исследование влияния ионной имплантации на оптические свойства естественного окисного слоя, покрывающего поверхность кремния [15]. Совместно с сотрудниками ЭИ САН (Братислава) были выполнены исследования содержания легких элементов (в том числе и водорода) в слоистых структурах, создаваемых на поверхности кремния с помощью технологии PECVD (плазмохимическое осаждение из газовой фазы) [16]. Продолжались исследования методом обратного рассеяния ионов гелия различных слоистых структур технического назначения совместно с сотрудниками ВГУ (Воронеж, Россия).

В 2011 г. завершены работы по совершенствованию радиоаналитического комплекса РЕГАТА. В период двух реакторных циклов, после модернизации реактора ИБР-2М, выполнен большой объем плановых исследований в рамках проектов со странами-участницами ОИЯИ. Совместно с Институтом физики им. Э. Андроникашвили (Тбилиси) и филиалом голландской фирмы «Системы для микроскопии и анализа» в Москве на приборе Quanta 3D FEG выполнена работа по визуализации наночастиц серебра и золота, полученных в процессе биосинтеза бактериями *Streptomyces glaucus* 71 MD и *Artrobacter globiformis* 151B и сине-зеленой микроводорослью *Spirulina platensis* [17]. Предварительные данные по количественной оценке синтеза серебра и золота и его влияния на изменение элементного состава биомассы изучаемых объектов были получены на реакторе SAFARI-I (NECSA) в ЮАР в июне 2011 г. и на реакторе ИБР-2М в ноябре 2011 г. Завершена программа исследований по распределению ^{137}Cs и ^{210}Pb во мхах-биоиндикаторах, собранных на территории Белоруссии и Словакии спустя 23 года после Чернобыльской аварии. Гамма-спектрометрия образцов мха проводилась в низко-

фоновых лабораториях Университета Коменуса в Братиславе (Словакия) и Корпорации по ядерной энергии Южной Африки (NECSA). Совместно со словацкими и норвежскими учеными проанализированы данные сезонных вариаций ^{137}Cs и ^{40}K в приземном воздухе Братиславы, что является, по мнению авторов, результатом почвенной ресуспензии. Совместно со специалистами Бухарестского университета (Румыния) и Геологического института РАН на реакторе МИФИ в Москве проведен многоэлементный анализ донных отложений и горных пород двух полузакрытых (semiclosed) экосистем: приледникового озера Быля (горы Фэгэраш) и озера кратерного происхождения Св. Ана (горы Харгита). Полученные результаты представляют большой интерес для практической геологии. По результатам завершившегося в 2010 г. международного проекта черноморских стран (BSEC-PDF) «Восстановление городских экосистем с помощью высших растений», в котором принимали участие ОИЯИ, Болгария, Греция, Сербия, Румыния и Турция, подготовлен отчет Экономическому совету черноморских стран и публикация [18].

ИМПУЛЬСНЫЙ РЕАКТОР ИБР-2

В 2011 г. работы на исследовательском реакторе ИБР-2 выполнялись в соответствии с задачами темы «Развитие реактора ИБР-2М с комплексом криогенных замедлителей нейтронов». При этом обеспечивалась нормальная текущая эксплуатация всех систем реактора. После завершения в 2010 г. модернизации реактора в течение 2011 г. в полном объеме был осуществлен физический пуск реактора в стационарном и импульсном режимах, а затем успешно выполнен энергетический пуск с выводом реактора на проектную мощность 2 МВт. Для уточнения пользовательских характеристик модернизированного реактора в ноябре–декабре выполнено два двухнедельных цикла тестовых физических экспериментов на выведенных пучках нейтронов при мощности реактора 2 МВт. Также была выполнена работа по подготовке необходимой документации для получения лицензии Ростехнадзора на эксплуатацию реактора.

В 2011 г. работа по созданию комплекса криогенных замедлителей проводилась по двум основным направлениям:

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РАЗРАБОТКИ И СОЗДАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СПЕКТРОМЕТРОВ ИБР-2

Разработка комплекса замедлителей нейтронов. Исследовательские работы по созданию холодного замедлителя для ИБР-2 на направления 7, 8, 10 и 11-го пучков, проводимые в рамках темы, включали в себя два крупных блока:

1. На испытательном стенде, смонтированном на 3-м канале в экспериментальном зале, было проведено более 30 циклов захолаживания с загрузкой и без загрузки шариков мезитилена в камеру-имитатор. По результатам этих экспериментов:

а) была разработана технология полной загрузки мезитиленовых шариков в камеру-имитатор за время 3–5 ч;

б) были изучены гидродинамические и теплофизические свойства пневмотрассы, необходимые для проектирования реальных конструкций пневмотрасс подачи шариков к замедлителям;

в) разработана система контроля движения шариков на основе мембранных датчиков дифференциального давления;

г) разработана техническая документация, необходимая для монтажа криогенного замедлителя на штатном месте.

2. Продолжались пусконаладочные работы на установке КГУ-700/15.

• разработку и исследование технологических схем комплекса замедлителей (приготовление и загрузка шариков, транспортные трубопроводы, криогенное оборудование, системы контроля и др.);

создание полномасштабного стенда криогенного замедлителя;

- курирование изготовления и монтажа комплекса замедлителей, пусконаладочные работы.

В 2011 г. на макете криогенного замедлителя проведен целый комплекс экспериментов по загрузке камеры-имитатора. В результате были выбраны оптимальный температурный режим работы и необходимая скорость транспортирующего гелия, отлажена система контроля движения шариков и разработана технология полной загрузки мезитиленовых шариков в камеру-имитатор. В то же время при работе с макетом выявлен ряд недостатков проекта технологической схемы, в первую очередь, это касается метода подсчета шариков. В результате разработан альтернативный метод контроля загрузки камеры и параметров работы замедлителя. Наблюдение за процессом заполнения камеры шариками (мониторинг) на реальном замедлителе предлагается делать с помощью получения нейтронного образа камеры замедлителя на двухкоординатном ПЧД методом «камеры-обскуры». Помимо задачи контроля заполнения камеры замедлителя, монитор позволит также решить следующие задачи: измерение локального спектра нейтронов; контроль локальной, «точечной» температуры шариков в динамическом режиме нагрева мезитилена для плавления шариков; контроль слива мезитилена.

Завершено изготовление комбизамедлителя на направления 7, 8, 10 и 11-го пучков с «малой» тележкой для установки вблизи реактора, проведена пробная установка. Приобретено необходимое промышленное оборудование (криостаты-теплообменники, трубы гелиепроводов, газодувка, трубы пневмотранспорта шариков и др.) и выполнены монтажные работы в кольцевом коридоре. Специалистами ОАО «НПО Гелиймаш» завершаются пусконаладочные работы на установке КГУ-700/15.

Расчеты и моделирование спектрометров. В течение 2011 г. в сотрудничестве с JCNS (Мюнхен) разработаны специальные *VITESS (Virtual Instrument Tool European Spallation Source)* модули, позволяющие моделировать поведение спина нейтрона в произвольных магнитных полях, и выполнено моделирование нескольких вариантов малоуглового спектрометра нейтронного рассеяния на основе метода спин-эхо с меняющимися во времени магнитными полями на реакторе ИБР-2.

Реконструкция нейтронных каналов на 7-м канале ИБР-2. Совместно с институтами ФРГ и ПИЯФ (Гатчина) продолжались работы по реконструкции нейтронных каналов на 7-м канале ИБР-2 и модернизации дифрактометров ЭПСИЛОН и СКАТ (в соответствии с планом-графиком проекта ВМВФ-ОИЯИ). Изготовлены и смонтированы стойки и 92 вакуумных кожуха изогнутых нейтронных каналов, смонтировано вакуумное оборудование и выполнено вакуумное уплотнение 200-метровой базы нейтронных

каналов спектрометров ЭПСИЛОН и СКАТ. Аналогичные работы выполнены также для нейтронного спектрометра НЕРА-ПР (завершено около 30 % общего объема работ). Изготовлены фоновый и барабанные λ -прерыватели с системами управления для ЭПСИЛОН, СКАТ и НЕРА-ПР, измерены характеристики прерывателей в режиме фазировки.

Работы по монтажу биологической защиты, оборудования нового *фурье-дифрактометра высокого разрешения*, основанного на узлах спектрометра FSS (GKSS, Гестхахт), и оборудования *тестового пучка* на 13-м и 14-м каналах ИБР-2 задерживаются, так как до сих пор не решены организационные и финансовые вопросы, связанные с транспортировкой оборудования FSS из Гестхахта в Санкт-Петербург и далее в Дубну. В настоящее время произведен демонтаж физического оборудования и готовится демонтаж нейтронного спектрометра FSS на реакторе FRG-2. Ведутся подготовительные работы на 13-м и 14-м каналах ИБР-2.

В 2011 г. продолжен курс на унификацию оборудования и электроники *исполнительных механизмов и систем окружения образца* спектрометров ИБР-2М. По данному направлению выполнены следующие работы: модернизированы системы управления гониометром и платформой с детектором на спектрометре РЕМУР; введена в эксплуатацию система управления установкой давления (ЮМО); смонтированы и введены в эксплуатацию семь новых частотных приводов для прерывателей нейтронных пучков; изготовлены и налажены новые системы контроля физической установки (состояния шибера, прерывателей и др.) для спектрометров СКАТ, ЭПСИЛОН и НЕРА-ПР.

Детекторы. По результатам испытаний тестового модуля кольцевого секционированного газового детектора для дифрактометра ДН-6 в 2011 г. была выполнена доработка электродной системы и в НПО АТОМ изготовлены все механические узлы детектора. К настоящему времени произведены следующие работы: распайка входных каскадов предусилителей, полная сборка детектора, обезгаживание, вакуумное уплотнение и заполнение детектора тестовой газовой смесью. На стенде проведены предварительные испытания детектора с источником ^{252}Cf , измерены амплитудные спектры и счетные характеристики. Изготовлены все блоки 96-канальной электроники сбора и накопления данных, ведется их настройка (рис. 4). В декабре прошло успешное тестирование детектора на пучке ИБР-2.

2D ПЧД для спектрометра GRAINS передан физикам. Изготовлены и находятся в стадии тестирования аналогичные по конструкции детекторы для системы мониторинга работы холодного замедлителя и для дифрактометра ДН-2.

В связи с высокой стоимостью гелия-3 и трудностями с его приобретением форсируются работы по

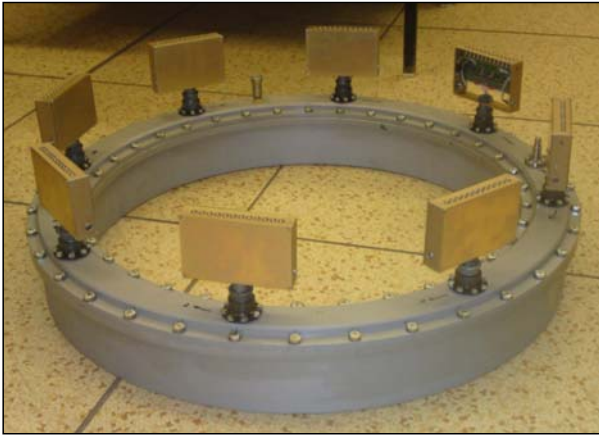


Рис. 4. Детектор с установленными на его корпусе 12-канальными усилителями-формирователями

созданию установки для очистки гелия-3 с тем, чтобы ввести ее в эксплуатацию в 2012 г.

Электроника. Блок DE-LI-DAQ2 для ПЧД настроен и подготовлен к тестированию на пучке нейтронов. Эти работы будут проведены во время осенних циклов ИБР-2М. Изготовлены и настроены три комплекта блоков MPD для сбора и накопления данных с точечных детекторов спектрометров ЭПСИЛОН, ДН-6 и ФДВР; 16-канальный блок накопления сдан в эксплуатацию на спектрометре РЕФЛЕКС.

Разработан план-график перевода спектрометров ИБР-2М на новое поколение электроники сбора и накопления данных (блоки MPD и DE-LI-DAQ2). Планируемый темп работ — 2–3 спектрометра в год. Замена электроники влечет за собой также отказ от стандарта VME и переход к использованию программного комплекса Sonix+.

В связи с пуском реактора был выполнен большой объем работ по профилактике и ремонту электроники комплекса спектрометров ИБР-2М.

КОНФЕРЕНЦИИ И ШКОЛЫ

В 2011 г. были организованы и проведены ЛНФ три научные школы для молодых ученых: IV Высшие курсы для молодых исследователей, студентов, аспирантов и докторов наук из стран СНГ по современным методам исследований наносистем и материалов «Синхротронные и нейтронные исследования наносистем» (СИН-нано-2011) (10–23 июля, Москва–Дубна), III Международная молодежная научная школа «Современная нейтронография: фундаментальные и прикладные исследования функциональных и наноструктурированных материалов» (31 октября–4 ноября, Дубна) и II Международная молодежная научная школа «Приборы и методы экспериментальной ядерной физики. Электроника и

Программное обеспечение. Для новых контроллеров DAQ в драйвер включены и опробованы функции для работы в режиме list mode. Эти функции предполагается использовать, прежде всего, для фурье-дифрактометров (ФДВР и ФСД) и спектрометра ЭПСИЛОН. Подготовлены рабочие версии программного обеспечения (Sonix+) для спектрометров СКАТ и ЭПСИЛОН в расчете на имеющееся оборудование. После завершения модернизации детекторных систем и систем окружения образца этих спектрометров программное обеспечение будет также модифицировано. Для спектрометра ЭПСИЛОН начата работа над программой юстировки на основе matplotlib, PyQt и QT. Созданы виджеты для визуализации одно- и многомерных данных, а также прототип программы в целом.

В программном обеспечении системы WebSonix произведены существенные изменения. Предложен и реализован новый протокол обмена данными сайта с управляющими компьютерами для повышения надежности обмена и ускорения передачи протоколов измерений. Дополнена справочная информация о комплексе Sonix+, в частности, созданы модули «help» на русском и английском языках.

Локальная вычислительная сеть (ЛВС). Завершается первый этап перехода ЛВС ЛНФ на работу со скоростью 10 Гбит/с. На этом этапе к сетевой магистрали 10 Гбит/с подключены здание 119 (ЦВК, офисы сотрудников НЭОКС) и здание 117 (экспериментальные залы №1 и №2, службы управления реактором ИБР-2М). Это позволяет предоставить конечным пользователям возможность работать на скоростях до 1 Гбит/с. Для выполнения этого этапа за счет средств Федерального министерства науки и образования Германии (BMBWF) приобретено необходимое коммутационное оборудование и между зданиями 119, 117, 117/2, пультом управления реактором ИБР-2М и экспериментальными залами реактора смонтирована одномодовая волоконно-оптическая кабельная сеть.

автоматика экспериментальных установок» (7–9 ноября, Дубна). Проведенные в ЛНФ школы явились продолжением традиций по организации школ, посвященных фундаментальным и прикладным аспектам исследований в области нейтронной физики, физики конденсированного состояния, материаловедения и других смежных областях с целью привлечения молодых ученых для развития и использования установок ЛНФ.

С 25 по 28 мая в ОИЯИ проходил 19-й Международный семинар по взаимодействию нейтронов с ядрами «Фундаментальные взаимодействия и нейтроны, ядерная структура, ультрахолодные нейтроны, смежные вопросы». Представленные ра-

боты покрывают широкий спектр фундаментальных и прикладных проблем в области ядерной физики и экологии, изученных с помощью нейтронов. Были доложены первые физические результаты, полученные на новом источнике нейтронов ИРЕН ОИЯИ.

С 27 по 30 мая 2011 г. в ЛНФ ОИЯИ состоялось международное совещание пользователей МУРН-ЮМО, посвященное 75-летию со дня рождения Ю. М. Останевича (1936–1992), основателя направления исследований малоуглового нейтронного рассеяния (как области, группы и инструмента) в ЛНФ ОИЯИ.

Международная конференция «Исследования внутренних напряжений и текстуры с помощью дифракции нейтронов» (STI-2011), организованная совместно с Геофизическим исследовательским центром Потсдам (GFZ) и Институтом технологии (KIT) в Карлсруэ (Германия), проходила в Лаборатории нейтронной физики им. И. М. Франка с 7 по 10 июня. Основной ее целью была координация работ на действующих на ИБР-2М специализированных дифрактометрах: ЭПСИЛОН, СКАТ и ФСД, предназначен-

ных для измерения дифракционных спектров объемных геологических и конструкционных материалов. Во время остановки реактора эти спектрометры были основательно модернизированы. Особенно это касается проекта модернизации установок ЭПСИЛОН и СКАТ, который в значительной степени финансировался ВМБФ.

III совместный семинар ОИЯИ–Румыния по использованию нейтронов в исследовании ядра, конденсированных сред и наук о жизни был организован ЛНФ совместно с Университетом Валахия (Тырговиште, Румыния) с 24 по 30 июля, при финансировании грантом полномочного представителя Правительства Румынии в ОИЯИ.

Три последних упомянутых мероприятия были организованы с целью представить пользовательскую программу ЛНФ международному научному сообществу и пригласить ученых участвовать в 1-м конкурсе заявок на использование экспериментальных установок, объявленном после модернизации реактора ИБР-2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Balagurov A. M. et al.* Effects of Structural Disorder in Fine-Grained HTSCs $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ // JETP. 2012. V. 141, No. 3 (submitted).
2. *Kozlenko D. P. et al.* Antipolar Phase in Multiferroic BiFeO_3 at High Pressure // Phys. Rev. B. 2011. V. 84. P. 094108-1–094108-5.
3. *Vékás L. et al.* Synthesis of Magnetic Nanoparticles and Magnetic Fluids for Biomedical Applications // Nanomedicine — Basic and Clinical Applications in Diagnostics and Therapy / Ed. C. Alexiou. Else Kröner-Fresenius Symp. Basel: Karger, 2011. V. 2. P. 35.
4. *Tropin T. V.* Towards Description of Kinetics of Dissolution and Cluster Growth in C_{60} /NMP Solutions // Phys. Stat. Sol. B. 2011. V. 248, No. 11. P. 2728.
5. *Murugova T. N. et al.* Potentials of Small-Angle Neutron Scattering for Studies of the Structure of «Live Mitochondria» // Neutron News. 2011. V. 22. P. 11.
6. *Golosova N. O. et al.* Evolution of the Phonon Density of States of LaCoO_3 over the Spin State Transition // Phys. Rev. B. 2011. V. 83. P. 214305-1–214305-6.
7. *Krylov A. R. et al.* Study of Bound Hydrogen in Powders of Diamond Nanoparticles // Crystallogr. Rep. 2011. V. 56. P. 102.
8. *Vesna V. A. et al.* Measurement of the P -Odd Effect in Radiative Cross Section on Natural Lead // Proc. of the 19th Intern. Seminar on Interaction of Neutrons with Nuclei, Dubna, May 25–28, 2011 (in press).
9. *Al-Adili A. et al.* On the Frisch-Grid Signal in Ionization Chambers // Nucl. Instr. Meth. A. 2011 (submitted).
10. *Granja C. et al.* Spatially Correlated and Coincidence Detection of Fission Fragments with the Pixel Detector Timepix // Proc. Record of Conf. on Nuclear Science Symp. (NSS). 2011. P. 1578–1584. DOI 10.1109/NSSMIC.2010.5874042.
11. *Guohui Zhang et al.* $^{149}\text{Sm}(n, \alpha)^{146}\text{Nd}$ Cross Section in the MeV Region // Phys. Rev. Lett. 2011. V. 107. P. 252502.
12. *Baldin A. A. et al.* Nuclear Relativistic Technologies for Energy Production and Utilization of Spent Nuclear Fuel: Results of First Experiments on Substantiation of Nuclear Relativistic Technologies // Phys. Part. Nucl., Lett. 2011. P. 8606–8615.
13. *Pokotilovski Yu. N.* Neutron Experiments to Search for New Spin-Dependent Forces // JETP Lett. 2011. V. 9. P. 4447.
14. *Borzakov S. B. et al.* Application of Neutron Spectroscopy Techniques to Determine the Isotopic Composition of Samples under Study at the IREN Facility // Proc. of the 19th Intern. Seminar on Interaction of Neutrons with Nuclei, Dubna, May 25–28, 2011 (in press).
15. *Huran J. et al.* Study of Wide Band Gap Nanocrystalline Silicon Carbide Films for Radiation Imaging Detectors // Nucl. Instr. Meth. A. 2011. V. 633. P. 75.
16. *Valovic A. et al.* Properties Study of Silicon Carbide thin Films Prepared by Electron Cyclotron Resonance Plasma Technology // Eur. Phys. J. App. Phys. 2011. V. 56. P. 24013.
17. *Kalabegishvili T. L. et al.* Characterization of Microbial Synthesis of Silver and Gold Nanoparticles with Electron Microscopy Techniques // J. Advanced Microscopy Res. 2011. V. 6. P. 1.
18. *Gorelova S. V. et al.* Revitalization of Urban Ecosystems through Vascular Plants: Preliminary Results from the BSEC-PDF Project // Agrochimica. 2011. V. 55. P. 65.