

ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ им. И. М. ФРАНКА

Научная программа Лаборатории нейтронной физики им. И. М. Франка в 2008 г. охватывала пять тем Проблемно-тематического плана научно-исследовательских работ и международного научно-технического сотрудничества ОИЯИ. Она была направлена на получение новых результатов по физике конденсированных сред (тема «Нейтронные исследования структуры и динамики конденсированных сред», 07-4-1031-99/2008, руководители В. Л. Аксенов и А. М. Балагуров); по нейтронной ядерной физике (тема «Нейтронная ядерная физика — фундаментальные и прикладные исследования», 06-4-1036-2001/2010, руководители В. Н. Швецов и Ю. Н. Копач). Для обеспечения физических исследований осуществлялось развитие и создание базовых установок лаборатории: ИБР-2 (тема «Развитие и совершенствование комплекса ИБР-2», 07-4-851-87/2010, руководители А. В. Белушкин и

А. В. Виноградов), а также развитие комплекса спектрометров ИБР-2 (тема «Разработка и создание элементов нейтронных спектрометров для исследования конденсированных сред», 07-4-1052-96/2008, руководители А. В. Белушкин и В. И. Приходько).

В создании установки ИРЕН (тема «Создание установки ИРЕН (проект ИРЕН)», 06-4-0993-94/2008, руководители В. Н. Швецов и В. Г. Пятаев) был достигнут момент, когда образованные нейтроны регистрировались на расстоянии 11 м от мишени на полу мишенного зала.

ЛНФ также принимала участие в разработке темы ОИЯИ «ATLAS. Общецелевой pp -эксперимент на большом адронном коллайдере в ЦЕРН» (тема 02-0-1007-94/2008, руководитель Н. А. Русакович).

Этот отчет содержит краткое описание научных результатов за 2008 г. «Годовой отчет ЛНФ» представляет более детальный отчет за 2008 г.

НЕЙТРОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД

В связи с остановкой реактора ИБР-2 для проведения реконструкции научно-экспериментальная работа сотрудников НЭО НИКС 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. Работы на реакторе ИБР-2 выполнялись по плану модернизации спектрометров.

Научные результаты. Атомная и магнитная структура серии твердых растворов $Pb_{2-x}Ba_xFe_2O_5$ с $x \approx 1$ изучена с помощью дифракции нейтронов и рентгеновских лучей, электронной микроскопии и мессбауэровской спектроскопии. Эти составы относятся к типу анион-дефицитных перовскитов, которые интересны сочетанием магнитных

и сегнетоэлектрических свойств. В дифракционных экспериментах обнаружены две структурные фазы (высоко- и низкотемпературная) с переходом между ними при $T_c \approx 540$ К. Фазы различаются конфигурацией двух зеркально-связанных цепочек тригональных FeO_5 -бипирамид, которые упорядочиваются ниже T_c . Из нейтронных дифракционных данных следует, что ниже $T_N = 625$ К в $Pb_{1,08}Ba_{0,92}Fe_2O_5$ возникает антиферромагнитный (AFM) порядок с вектором распространения $k = [0, 1/2, 1/2]$ (рис. 1). В то же время магнитное расщепление мессбауэровских спектров возникает при температуре ниже 520 К. Столь большая разница в температурах магнитного упорядочения была объяснена специфическим характером динамики спинов, возникающим вследствие существенно разного сверхобмен-

ного взаимодействия между магнитными моментами атомов железа, находящихся в FeO_6 -октаэдрах и в FeO_5 -тригональных бипирамидах [1].

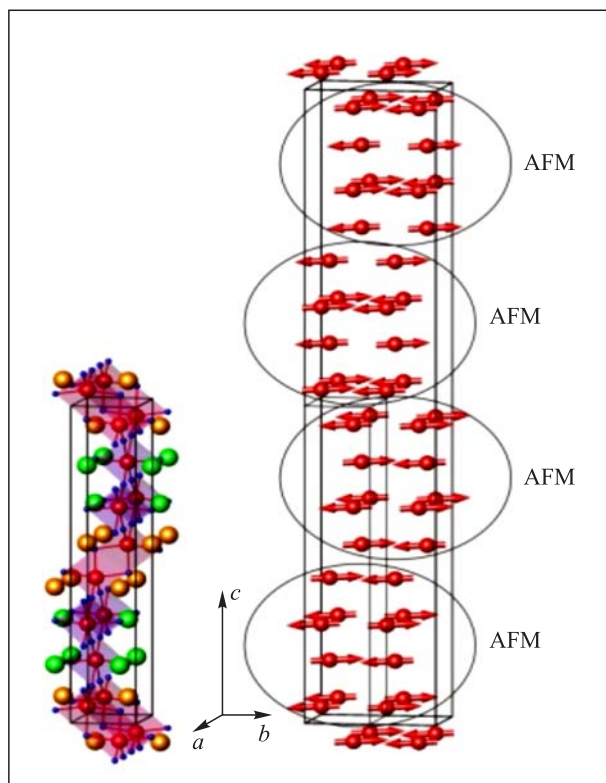


Рис. 1. Иллюстрация антиферромагнитного упорядочения моментов атомов железа в структуре $\text{Pb}_{1,08}\text{Ba}_{0,92}\text{Fe}_2\text{O}_5$ (справа). Элементарная ячейка кристаллической структуры низкотемпературной фазы соединения (слева) в той же шкале

Продолжались исследования влияния высокого давления на кристаллическую и магнитную структуры сложных магнитных оксидов переходных металлов. В экспериментах с гексагональным фрустрированным манганитом YMnO_3 , проявляющим свойства мультиферроика, обнаружено значительное усиление диффузного магнитного рассеяния и резкое подавление интенсивности магнитных рефлексов при повышении давления в области низких температур. Интерпретация этого явления основана на предположении о стабилизации под давлением состояния магнитной жидкости с сильными спиновыми флуктуациями [2]. В составе $\text{La}_{0,33}\text{Ca}_{0,67}\text{MnO}_3$, исследованном в диапазоне температур 10–300 К и давлений 0–5 ГПа, обнаружено, что под давлением исходное антиферромагнитное состояние типа вигнеровского кристалла подавляется и происходит стабилизация антиферромагнитного состояния С-типа [3].

В рамках проекта РФФИ – Общество им. Г. Гельмгольца (Германия) продолжались эксперименты по изучению структуры слабоконцентрированных (с 1 %-й объемной долей магнитного

материала) магнитных жидкостей, стабилизированных с помощью насыщенных монокарбоксильных кислот разной длины. Проведен поиск подходящего источника магнитных наночастиц среди водных магнитных жидкостей со стерической стабилизацией на основе двойного покрытия магнетита различными поверхностно-активными веществами (ПАВ), включая лимонную (CA + CA), олеиновую (OA + OA), миристиновую (MA + MA) и лауриновую кислоты (LA + LA). Структурный анализ, включающий в себя эксперименты по намагничению, просвечивающей электронной микроскопии и малоугловому рассеянию нейтронов, показал, что часть наночастиц магнетита (размером около 7 нм, полидисперсностью 40 %) в исследуемых системах образует стабильные агрегаты со средним размером до 40 нм в зависимости от типа оболочки ПАВ. Магнитные жидкости добавлялись в среду, в которой инкубировались клетки рака мозга различных серий. Проникновение наночастиц в клетки было определено с помощью магнитной сепарации клеток, атомной абсорбционной спектроскопии, флуоресценции и оптического анализа с использованием красителя. Обнаружено, что клеточная токсичность исследуемых наночастиц различна для разных стабилизирующих слоев ПАВ. Показано, что предпочтительным источником магнитных наночастиц является магнитная жидкость со стабилизацией LA + LA. С точки зрения структурных особенностей она обладала наименьшей агрегацией, что объясняет лучшее проникновение магнитных наночастиц в клетки и может являться причиной наименьшей токсичности для клеток [4].

В рамках исследований сосуществования ферромагнетизма (FM) и сверхпроводимости (S) в тонких мультислоях завершена обработка данных и интерпретация результатов, полученных на тройной системе (S)/(FM)/(S), а именно (Nb)/(Fe)/(Si, Mo) на подложке из кремния. Теоретический анализ показал, что благодаря эффектам близости между S- и FM-слоями возможны различные сценарии их взаимодействия: формирование доменной структуры, «перетекание» намагниченности от FM- к S-слою, изменение прямого и косвенного обменного взаимодействия FM-слоев. Практическая важность изучения таких систем связана с перспективой создания устройств записи информации одновременно по электрическому и магнитному каналам. Измерения проведены в магнитном поле напряженностью 500 Э и в диапазоне температуры 2–60 К. Впервые одновременно наблюдались перестройка доменной структуры и понижение намагниченности насыщения в доменах при переходе слоя Nb (500 Å) и структуры [Si(34 Å)/Mo(34 Å)] в сверхпроводящее состояние. Впервые прямо показано, что в тройной системе (S)/(FM)/(S) при переходе слоев в сверхпроводящее состояние происходит уменьшение величины обменного взаимодействия в ферромагнитном слое [5].

Проведены исследования нового класса полимеров, получаемых в результате регулируемого синтеза, — дендримеров. По экспериментальным данным МУРН восстановлено пространственное распределение рассеивающей плотности исследуемого типа дендримеров (рис. 2). Методом вариации контраста доказано, что молекулы дендримеров в растворах не содержат закрытых внутренних полостей, не доступных растворителю. Определен парциальный объем дендримера в растворе, и рассчитана объемная доля (30–40 %) открытых внутренних полостей, доступных растворителю. В результате исследования дендримеров с фторуглеродными заместителями у атомов кремния во внешнем слое молекулярной структуры установлено, что концевые группы дендримеров локализованы в его поверхностном слое. Показано, что простой моделью роста дендримерных ветвей невозможно объяснить анизотрию и пространственную неоднородность полимера [6]. Методами малоуглового рассеяния нейтронов и рентгеновских лучей проведено исследование магнитных эластомеров — композитных материалов из полимерной матрицы и высокодисперсных магнитных частиц. Обнаружено, что полимерная матрица фрагментирована и имеет нанофазный характер, при этом геометрические размеры нанофазных областей зависят от концентрации внедренных магнитных частиц и величины магнитного поля, прилагаемого в процессе синтеза материала [7].

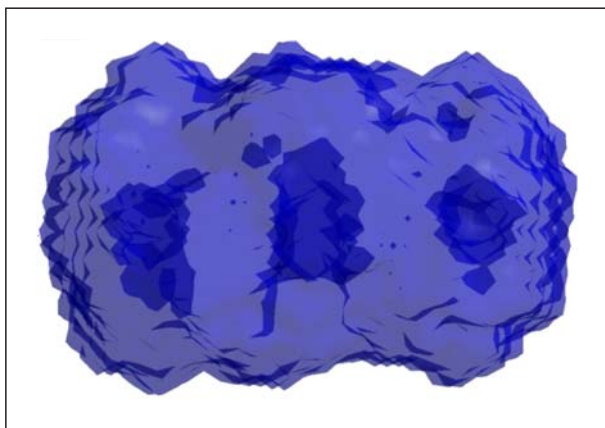


Рис. 2. Пространственное распределение рассеивающей плотности в дендримере, полученное из данных малоуглового рассеяния

Изучены изомеры диметилбутанола $C_6H_{13}OH$, (2,2DM-1B, 3,3DM-1B, 2,3DM-2B и 3,3DM-2B), состоящие из глобулярных молекул, которые в твердом состоянии образуют ориентационно неупорядоченные кристаллические фазы. Калориметрические исследования полиморфизма этих соединений позволили выявить значительные различия температур плавления, а также кинетики и числа фазовых превращений, наблюдаемых при охлаждении и нагреве. Одновременные исследования дифракции и неупру-

го некогерентного рассеяния нейтронов (ННРН) позволили идентифицировать стеклообразные и кристаллические фазы, которые могут сосуществовать при низких температурах [8]. Предварительная интерпретация спектров ННРН основана на квантово-химических расчетах динамики изолированных молекул, с применением базиса B3LYP/6-311G** в теории функционала электронной плотности (DFT).

На основе результатов комплексных нейтронных и акустических экспериментов образцов монокристаллического и поликристаллического кварца в области полиморфного α – β -перехода обоснована флюидометаморфогенная (ФМ) модель сейсмотектогенеза. В такой модели причиной разрушения при сейсмическом процессе является рост величины микронапряжений и уменьшение прочности твердых тел в ходе твердофазных превращений. Формулировка модели приведена в монографии [9]. С использованием метода количественного текстурного анализа установлены четыре основных типа кристаллографических текстур кварца в природных горных породах. Для оценки ожидаемой степени анизотропии различных физических свойств впервые использован метод описания преимущественной ориентации с помощью построения ФРО-гистограмм и ФРО-спектров (ФРО — функции распределения по ориентациям).

Завершен цикл работ по исследованию мартенситной трансформации и усталостных свойств аустенитных нержавеющей сталей, широко используемых в технике из-за своих выдающихся механических, сварочных и антикоррозионных характеристик. Экспериментальное моделирование усталостной деградации проводилось с помощью циклических нагрузок растяжение–сжатие в пластической области с частотами от 0,1 до 100 Гц. Выявлены области характерных частот, сильно различающиеся по воздействию на сталь. Определены закономерности образования мартенситной фазы в исходно однофазном (аустенитном) материале. Показано, что в некоторых случаях имеется значительная несогласованность упругих констант фаз, образующих материал, что оказывает сильное влияние на его прочностные свойства [10].

Методические результаты. Начато изготовление головной части зеркального вакуумного нейтронновода в рамках реализации проекта создания дифрактометра для исследования микрообразцов ДН-6 (канал 6б ИБР-2М).

Для рефлектометра GRAINS, создающегося на канале 10 ИБР-2М, начато изготовление головной части, которая состоит из формирователя двух пучков, покрытого вакуумным кожухом. Реализована секционная конструкция. Сдана в производство коллимационная система рефлектометра, включающая в себя массивную подставку для размещения отдельных узлов установки. Она позволит направлять пучок нейтронов под заданным углом к поверхности

образца, регулировать угол падения на образец и отделять тепловые и холодные нейтроны от быстрых нейтронов, что улучшит фоновые условия на установке.

Завершен технический проект зеркального вакуумного нейтроновода для спектрометра ДИН-2ПИ, проведены работы по подготовке рабочей площадки для установки нейтроновода. Работа ведется в сотрудничестве организаций-пользователей: ЛНФ ОИЯИ и ПИЯФ РАН (Гатчина). Создаваемый зеркальный нейтроновод позволит повысить интенсивность холодных нейтронов ($E < 5$ мэВ) на образце в 4–6 раз и при этом уменьшить размеры исследуемых

образцов в 2–3 раза, что будет означать существенное улучшение качества спектрометра ДИН-2ПИ и приближение его характеристик к лучшим зарубежным аналогам.

Изготовлена установка для измерения низкотемпературного магнитосопротивления в области низких температур. Установка потребовалась для оперативного анализа свойств манганитов типа $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$, которые являются ферромагнетиками со свойствами «плохого металла». Синтез манганитов выполнялся по золь-гель технологии. Их магнитосопротивление было успешно измерено в поле $H_{\text{max}} = 1,2$ Тл в диапазоне температур 7–300 К.

НЕЙТРОННАЯ ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

Подготовка к экспериментам на первой очереди нейтронного источника ИРЕН. Осуществлена модернизация измерительного модуля гамма-спектрометра КОКОС, позволившая существенно увеличить его быстродействие: разработан и изготовлен интерфейс под USB-1, создана новая программа накопления экспериментальной информации «Lada». Разработаны, изготовлены и испытаны блоки быстрого временного анализа с шириной канала 10–20 нс для проведения спектрометрии нейтронов по времени пролета. Разработано программное обеспечение системы с быстрым временным анализом для регистрации четырех TOF-спектров. Система предназначена для исследования параметров пучка нейтронного источника ИРЕН. Помимо этого разработаны алгоритмы и включены в данную систему программы для выполнения прецизионных экспериментов. Подготовлен и испытан многосекционный жидкокристаллический детектор гамма-квантов, установленный на пролетной базе 60 м. Подготовлены чертежи ионизационной камеры для работы на ЭГ-5 и ИРЕН.

Изучение фундаментальных свойств нейтрона. В рамках подготовки и проведения эксперимента по прямому измерению сечения рассеяния нейтрона на нейтроне на реакторе ЯГУАР (РФЯЦ-ВНИИТФ, Снежинск) были проведены калибровки на инертных газах (Ar, Ne), которые показали работоспособность установки и методики измерений. Полученные значения сечения рассеяния на газах совпадают с табличными значениями. Кроме того, из проведенных измерений оценено, что фон быстрых нейтронов не превышает расчетного значения. Первая попытка измерения рассеяния нейтрона на нейтроне показала наличие большого фона тепловых нейтронов, на порядок превышающего уровень ожидаемого эффекта. Этот фон имеет квадратичную зависимость от энергии импульса реактора. Представляется, что наиболее вероятным источником фона является радиационно-индуцированная десорбция атомов

с поверхности стенок полости нейтронного рассеяния. Дальнейший прогресс проекта должен быть связан с изучением этого явления и уменьшением его влияния в эксперименте [11].

Подведен итог деятельности за последние годы по доказательству возможности реализации предложения по извлечению длины ne -рассеяния b_{ne} из экспериментальных данных по дифракции медленных нейтронов на благородных газах. Показано, что проведение целенаправленных измерений дифракции нейтронов на парах газов $\text{Ag}-^{36}\text{Ag}$ и $\text{Kr}-\text{Xe}$ может обеспечить извлечение b_{ne} с точностью 2–3 %. Это позволило бы достичь прогресса в проблеме большого разброса существующих экспериментальных оценок b_{ne} , который выходит за 5 стандартных ошибок. Существующие экспериментальные значения b_{ne} в пределах $\pm 10\%$ близки к длине Фолди $b_F = -\mu e^2/Mc^2 = -1,468 \cdot 10^{-3}$ фм. Интрига состоит в том, что если $b_{ne} = b_F$, то это означает, что за взаимодействие нейтрона с внешним электромагнитным полем полностью отвечает его магнитный момент без участия зарядовой структуры [12].

Исследования по физике деления ядер и других ядерных реакций. В рамках коллаборации с ЛЯР продолжена обработка экспериментальных данных по поиску тройного коллинеарного распада, полученных в 2006 г. на реакторе ИБР-2 с использованием установки «Мини-Фобос». Предложен новый способ обработки данных, предполагающий определение зарядов регистрируемых осколков деления с помощью времени дрейфа электронов в брэгговской камере. Полученные результаты согласуются с гипотезой о существовании экзотических мод распада делящегося ядра [13].

Продолжается анализ и интерпретация экспериментальных данных по интенсивностям двухквантовых каскадов при захвате тепловых нейтронов различными ядрами. Суммы радиационных силовых функций дипольных первичных γ -переходов аппроксимированы с высокой точностью полуфеноменоло-

гической зависимостью в области энергий первичных γ -переходов $0,5 < E_1 < B_n - 0,5$ МэВ для 41 ядра от ^{40}K до ^{200}Hg . Получено, что форма радиационных силовых функций в исследованных ядрах определяется структурой распадающегося и возбуждаемого уровней, по крайней мере, до энергии связи нейтрона B_n . Независимое подтверждение наличия значительной ступенчатой структуры в плотности уровней получено при реанализе опубликованных к настоящему времени данных об экспериментальных интенсивностях первичных γ -переходов, усредненных по нейтронным резонансам в районе их энергий 2 и 24 кэВ [14].

Прикладные исследования. В 2008 г. велась активная подготовка к аккредитации сектора нейтронного активационного анализа ЛНФ в рамках проекта технической кооперации с МАГАТЭ «Гармонизация системы контроля качества в соответствии с ISO-17025 и международными стандартами в лабораториях Российской Федерации, использующих ядерно-физические аналитические методы». Проведено два рабочих совещания МАГАТЭ, подготовлен пакет документов.

Продолжались работы по усовершенствованию спектрометрического и сервисного оборудования установки РЕГАТА на реакторе ИБР-2. Проведены оценки возможности НАА на новом источнике нейтронов ИРЕН, разработан технический проект на изготовление пневмотранспорта для проведения НАА на этой установке.

В 2008 г. завершен цикл работ в рамках международной программы «Атмосферные выпадения тяжелых металлов в Европе — оценки на основе анализа мхов-биомониторов». В рамках проекта РФФИ–Румынская академия проведена оценка ретроспективного загрязнения этого региона. Выполнены работы по проекту РФФИ–Монгольская академия наук «Разработка системы комплексного мониторинга тяжелых металлов и радионуклидов в Монголии с использованием ядерно-физических аналитических методов». В рамках координационной программы МАГАТЭ «Воздействие токсичных и потенциально токсичных элементов на женщин репродуктивного возраста в развивающихся странах» совместно с Российским государственным медицинским университетом (Москва), Аналитическим центром ГИН РАН и Медицинской акаде-

мией им. И. М. Сеченова в 2008 г. завершена работа по определению многоэлементного анализа образцов крови специально подобранных пациентов из одного из промышленных районов Москвы. Впервые на территории Белоруссии был применен метод мхов-биомониторов для оценки атмосферных выпадений радионуклидов спустя 20 лет после Чернобыльской аварии. Измерения были проведены совместно со специалистами из Братиславского университета и NECSA в ЮАР [15].

На пучках заряженных частиц ускорителя ЭГ-5 проводились аналитические исследования с использованием неразрушающих ядерно-физических методов.

Исследовано влияние имплантации ионов азота с энергией 125 кэВ и дозами $1 \cdot 10^{17} - 1 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-2}$ на трибологические характеристики нержавеющей стали марки AISI316L. Состав поверхностных слоев стали был изучен с помощью методов RBS, XRD (GXRД), SEM и EDX. Коэффициент трения и стойкость против истирания измерены на воздухе, в атмосфере кислорода, аргона и в вакууме. Обнаружено различное для разных окружающих сред увеличение сопротивления истиранию [16].

Проведены исследования зависимости электрических характеристик SiCN-пленок на кремниевой подложке от их химического состава. Концентрация кремния, азота и углерода в пленках была измерена с помощью методики резерфордовского обратного рассеяния. Концентрация водорода в пленках определялась с помощью методики протонов отдачи на пучке ионов. Аналогичные исследования были проведены с пленками а-С:Н, в которых обнаружено содержание водорода до 20 ат.%. Возможность точного определения концентрации всех элементов в трехэлементной пленке была реализована при одновременном измерении спектров резерфордовского обратного рассеяния и спектра протонов отдачи [17].

Обе методики использовались при исследовании глубинных профилей элементов в образцах пористого кремния. Изучались состаренные образцы p^+ -типа пористого кремния малой и средней степени пористости. Обнаружено, что приповерхностные слои толщиной в несколько сотен нанометров имеют различный элементный состав у пленок малой и средней пористости.

ИСТОЧНИКИ НЕЙТРОНОВ

Импульсный реактор ИБР-2. В 2008 г. по модернизации ИБР-2 выполнены следующие работы.

1. *Демонтаж всего заменяемого оборудования ИБР-2:*

— В соответствии с проектом НИКИМТ две откатные защиты (ОЗ), на которых размещались стаци-

онарные отражатели с блоками регулирования и аварийной защиты, водяные замедлители и пневмопачты (общий вес каждой ОЗ около 10 т) были последовательно выдвинуты в кольцевой коридор. Работа по их демонтажу осложнилась высокой наведенной активностью ($\sim 1000 \text{ Р/ч}$) и стесненными условиями

для выполнения работ. Для снижения уровня излучения были применены специальные защитные приспособления, изготовленные в ОП ОИЯИ и ЛНФ. Обе ОЗ были успешно перенесены в хранилище персоналом МТО.

— Демонтировано оборудование в пультовой реактора.

2. Монтаж нового оборудования реактора ИБР-2М:

— После удаления ОЗ ИБР-2 был выполнен последовательно монтаж новых ОЗ-1М и ОЗ-2М реактора ИБР-2М с новыми стационарными отражателями СО-1 и СО-2. После монтажа ОЗ-1М и ОЗ-2М были опробованы в работе, проверена сопрягаемость СО-1 и СО-2 друг с другом, проверена сопрягаемость 1-го и 9-го шибберов с ОЗ-1М и ОЗ-2М соответственно. Работа выполнялась персоналом МТО.

— Выполнены подготовительные работы к монтажу корпуса реактора.

— Завершена подготовка помещения резервного пульта, начат монтаж оборудования.

3. Изготовление нового оборудования ИБР-2М:

— В середине ноября завершилось изготовление корпуса реактора в НИКИЭТ, а 17 ноября корпус был доставлен в ОИЯИ. Задержка с поставкой корпуса на 6 месяцев не позволила в полном объеме выполнить до конца 2008 г. сварку корпуса с натриевыми коллекторами.

— Завершено изготовление трех водяных гребенчатых замедлителей. Проверена сопрягаемость замедлителя со стационарным отражателем, полученные результаты положительные.

— Завершено изготовление всех исполнительных механизмов СУЗ.

— В основном завершено изготовление оборудования АСУЗ и нового пульта.

— Изготовлено в ИНЭУМ оборудование системы контроля технологических параметров (СКТП), проведена заводская приемка СКТП, оборудование доставлено в ЛНФ, начат его монтаж.

4. Комплекс криогенных замедлителей (КЗ) ИБР-2М:

— Завершен выпуск конструкторской документации (КД) по КЗ-202 для пучков 7–11. Заключен договор с НПО «Атом» на изготовление КЗ-202.

— В НИКИЭТ начата разработка КД по КЗ-203 для пучков 2–3.

— ГСПИ выпустил технологический проект (1-й этап) комплекса КЗ.

— Завершена подготовка КД по трубопроводам подачи мезитилена в КЗ-202 и КЗ-203 в КБ ЛНФ. КД передана в НПО «Атом» для изготовления.

— В НПО «Атом» завершено изготовление откатных блоков для размещения в них КЗ-202 и КЗ-203.

— От НПО «Гелиймаш» получено оборудование холодильной установки КГУ-700/15. Заключен договор с «Энергоспецмонтажом» на монтаж криогенных

трубопроводов для КЗ-202 и КЗ-203. В стадии завершения изготовление в НПО «Гелиймаш» криогенных трубопроводов и двух криостатов.

5. Строительные работы:

— Завершена подготовка помещения резервного пульта.

— Выполнены основные строительные работы по помещениям для системы надежного питания.

— Выполнена большая часть запланированных работ по пультовой реактора.

Проект ИРЕН. Главными задачами Лаборатории нейтронной физики и Лаборатории физики высоких энергий в 2008 г. являлось завершение монтажа, тестирование и запуск оборудования первой очереди ускорителя ЛУЭ-200. К июню были завершены работы по монтажу оборудования в ускорительных залах. С конца июня велась работа по проводке пучка и наладке рабочего режима различных систем ускорителя. 17 июня был получен пучок электронов с заданными параметрами на выходе источника электронов, после чего началась работа по настройке клистрона и модулятора первой ускоряющей секции.

К концу ноября была завершена настройка ВЧ-систем ускорителя и пучок электронов в режиме ускорения был проведен через первую секцию. Для независимого подтверждения этих результатов была изготовлена временная мишень из вольфрама, которая была размещена в камере диагностического бокса на выходе из первой ускорительной секции. 5 декабря ускоренный пучок электронов был подан на временную мишень, при этом измерительным модулем, подготовленным специалистами НЭОФЯ ЛНФ, во временных окнах, синхронизованных со стартом ускорителя, регистрировались жесткие гамма-кванты и нейтроны. Наличие жестких гамма-квантов и нейтронов было независимо подтверждено данными, полученными от аппаратуры дозиметрического контроля.

В качестве контрольного эксперимента были выполнены измерения гамма-квантов и нейтронов при перекрытии пучка электронов на выходе из источника диагностическим люминофором. При этом счет гамма-квантов и нейтронов в соответствующих регистрирующих каналах отсутствовал в отличие от случая, когда электроны от источника подавались в ускоряющую секцию.

К 15 декабря был завершен этап проводки пучка ускоренных электронов до промежуточной вольфрамовой мишени, размещенной в перекрытии между нижним ускорительным и мишенным залами установки. По фокусному расстоянию квадрупольных линз и измеренной величине смещения центра тяжести пучка в зависимости от тока в корректирующих магнитах была оценена средняя энергия пучка ускоренных электронов, которая составила 20 МэВ.

15 декабря пучок ускоренных электронов с импульсным током 300–400 мА при частоте до 5 Гц выводился на промежуточную мишень. Нейтроны, образованные в результате взаимодействия тормозных гамма-квантов с веществом мишени, регистрировались газовым пропорциональным нейтронным счетчиком, располагавшимся на расстоянии 11 м от мишени на полу мишенного зала. Была оценена длительность вспышки по быстрым нейтронам и накоп-

лен времяпролетный спектр с шириной временных каналов от 20 нс до 8 мкс. За полчаса измерений при частоте 5 Гц статистика отсчетов во временных каналах составила до двухсот отсчетов в области резонансных нейтронов.

В настоящее время завершен монтаж электроновода и фокусирующих элементов в мишенном зале и начата работа по проводке пучка на штатную неразмножающую мишень.

РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ НЕЙТРОННЫХ СПЕКТРОМЕТРОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД

Системы формирования нейтронных пучков.

В рамках проекта создания изогнутых зеркальных нейтронных спектрометров ЭПСИЛОН и СКАТ на канале 7а реактора ИБР-2 совместно с институтами ФРГ и ПИЯФ (Гатчина, Россия) продолжались работы по проектированию и изготовлению механических и оптических узлов нейтронных спектрометров. В частности, разработаны и изготовлены дополнительные вакуумные кожухи, несущая платформа и монтажно-загрузочный механизм однообъемного разборного вакуумного кожуха головной части нейтронной системы 7-го канала ИБР-2М. В ПИЯФ изготовлены также оптические элементы для головной и изогнутых частей нейтронновода.

В ОП ОИЯИ изготовлены 44 юстировочные опоры изогнутых нейтронных спектрометров, а также сданы в производство чертежи стоек и юстировочных опор головной части. Произведен демонтаж головной части нейтронновода на канале 7б (спектрометр НЕРА-ПР) и частичный демонтаж защиты прерывателя в кольцевом коридоре реактора. Подготовлен технический проект реконструкции несущей колонны в здании 117.

На 13-м канале ИБР-2М предложено создать тестовый пучок для проведения испытаний нейтронных детекторов и других элементов спектрометров. Проектные параметры пучка: сечение нейтронновода 314 см^2 ; нейтронный поток с поверхности замедлителя $\sim 2 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, на расстоянии 10 м — до $10^8 \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$. Определена инфраструктура тестового пучка и начата подготовка технического проекта.

Криогенные исследования. По контракту с РНЦ «Курчатовский институт» выполнена конструкторская разработка и изготовлен шахтный криостат для охлаждения камер высокого давления с сапфировыми наковальнями для работы в диапазоне температур 6,5–300 К. Диаметр проходного отверстия криостата для загрузки камер высокого давления равен 120 мм, он соответствует размерам самих камер и позволяет располагать их как в вертикальном, так и в горизонтальном направлении. Контроль и измерение температуры осуществляется при по-

моши контроллера «Scientific Instruments» модели 9700 и кремниевых диодов DT470. Для охлаждения в криостате применен криокулер SRP-062B фирмы SUMITOMO.

Продолжались работы по созданию криогенного стенда ЛНФ. В 2008 г. приобретен и установлен основной элемент стенда — криокулер PT403 фирмы CRYOMECH, были также сконструированы и изготовлены основные детали криостата, позволяющего проводить тесты в диапазоне температур 2,5–300 К.

Системы управления исполнительными механизмами. Модернизировано программное обеспечение и проведены испытания разработанного в ЛНФ контроллера SMC-32-CAN для систем управления исполнительными механизмами на спектрометрах ИБР-2М:

— в состав комплекса Sonix+ введен модуль управления двигателями постоянного тока с регулируемыми параметрами (длительности импульса тока и длительности паузы);

— для повышения точности исполнительных механизмов в их конструкцию введен энкодер, устанавливаемый на валу шагового двигателя, что существенно улучшает разрешение.

Проведены исследования, показавшие возможность использования приводов VFAS1-4370PL фирмы TOSHIBA для фазировки вращения двигателей с мощностью до 500 Вт. Сделаны соответствующие рекомендации по замене устаревших и выработавших ресурс приводов ЭКТ2, используемых в прерывателях пучков на спектрометрах ИБР-2. Собран стенд для проверки характеристик прерывателей. Выполнен ряд работ по внедрению систем управления исполнительными механизмами на спектрометрах реактора ИР-8 в РНЦ «Курчатовский институт».

Газовые детекторы. Создан прототип детектора MWPC с индивидуальным съемом информации с каждой нити. Детектор содержит $36(X) \times 18(Y)$ катодных нитей, намотанных с шагом 1 мм. Съем сигналов осуществляется через 8-канальные токовые преобразователи и дискриминаторы; имеются также аналоговые выходы. Получены амплитудные спек-

тры сигналов с нитей. Ширина импульсов около 200 нс. Прототип детектора подготовлен к испытаниям на стенде.

В сотрудничестве с ИИЯЭ БАН (София) разработан и изготовлен изогнутый позиционно-чувствительный детектор (ПЧД), предназначенный для рентгеновской и нейтронной дифрактометрии. Он представляет собой изогнутый однокоординатный газонаполненный ПЧД, выполненный на основе многопроволочной пропорциональной камеры. Съем сигналов осуществляется с линии задержки.

Конструктивно детектор выполнен в стальном корпусе, к передней стенке которого крепится сборка с системой электродов. Вывод сигналов осуществляется через разъемы BNC, высокое напряжение подается через разъемы SHV. На корпусе детектора имеются два разъема «Swagelock», что позволяет использовать его в проточном режиме. Передняя стенка съемная, при работе в качестве рентгеновского детектора входным окном является алюминиевая пластинка толщиной 0,1 мм, при регистрации нейтронов толщина входного окна будет составлять 7 мм. Для большей жесткости входное окно утоплено в корпусе детектора. Шаг намотки анодных и катодных нитей равен 1 мм.

В 2008 г. изготовлены два MWPC ПЧД: для спектрометра GRAINS (финансирование из гранта Венгерской академии наук) и для системы мониторинга холодных замедлителей реактора ИБР-2М (финансирование по госконтракту с ФАНИ Минобрнауки РФ) [18, 19].

КОНФЕРЕНЦИИ

С 29 января по 4 февраля ЛНФ организовала Международную школу-семинар «Современные импульсные источники нейтронов» (PANS-III), посвященную 100-летию со дня рождения Д. И. Блохинцева. Как и два предыдущих мероприятия, которые проводились в 1991 и 1994 г. соответственно, семинар был открыт для обсуждения и поиска решения проблем, характерных для импульсных источников нейтронов, основанных на реакциях деления и «spallation». Помимо рассмотрения научных аспектов в рамках данного семинара проводилось знакомство молодых ученых с успехами в области создания разных нейтронных источников.

Проведено два рабочих совещания МАГАТЭ «Гармонизация системы контроля качества в соответствии с ISO-17025 и международными стандартами в лабораториях Российской Федерации, использующих ядерно-физические аналитические методы» с 26 по 30 мая и с 27 по 31 октября.

22–24 октября в Дубне прошел Международный семинар, посвященный 100-летию со дня рождения лауреата Нобелевской премии академика

Развитие локальной вычислительной сети, электроники систем сбора данных и программного обеспечения. Завершены работы по прокладке и монтажу волоконно-оптических линий связи между зданием 119 и экспериментальными залами 1, 2 и пультом управления ИБР-2М. Установка соответствующего коммуникационного оборудования в 2009–2010 гг. позволит работать в данном сегменте сети со скоростью 1–10 Гбит/с. В сетевом сегменте установки ИРЕН также проложен оптический кабель и введен в эксплуатацию коммутатор на 100 Мбит/с; осуществлено подключение первоочередных пользователей сети. Выполнена модернизация сетевых коммутаторов нижнего уровня в зданиях 42 и 42а.

Разработаны firmware-программы, а также изготовлены два комплекта новых электронных блоков для спектрометров ИБР-2М и выполнена их отладка с генератором событий. Разработаны драйверы и программные интерфейсы к Sonix+.

Продолжались работы по развитию комплекса Sonix+ как за счет включения новых модулей для управления устройствами, так и за счет совершенствования пользовательского интерфейса и средств визуализации. Расширены сервисные возможности системы удаленного управления WebSonix [20].

В сотрудничестве с исследовательским центром FZ (Юлих, ФРГ) выполнены разработка и предварительное тестирование модуля «Phase Space Transformer» для программного комплекса VITESS и начаты работы по моделированию спектрометра обратного рассеяния [21].

И. М. Франка. Семинар собрал большое количество участников и гостей, почтить память И. М. Франка приехали бывшие его сотрудники из стран-участниц ОИЯИ: Болгарии, Венгрии, Монголии, Польши.

Более ста физиков участвовали в 16-м традиционном Международном семинаре по взаимодействию нейтронов с ядрами (ISINN-16), проходившем в Дубне с 11 по 14 июня.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nikolaev I. V. et al. // Phys. Rev. B. 2008. V. 78. P. 024426-1–024426-12.
2. Kozlenko D. P. et al. // Ibid. P. 054401-1–054401-5.
3. Kozlenko D. P. et al. // Ibid. V. 77. P. 104444-1–104444-6.
4. Avdeev M. V. et al. // Adv. Materials Res. 2008 (submitted).
5. Aksenov V. L. et al. // J. Surface Investigations. 2008 (submitted).

6. Rogachev A. V. *et al.* // J. Phys.: Conf. Ser. 2008. V. 129. P. 012041.
7. Balasoiu M. *et al.* // JOAM. V. 10, No. 11. 2008. P. 2932–2936.
8. Juszynska E. *et al.* // Physica B. 2008. V. 403. P. 109.
9. Родкин М.В. и др. Сейсмотектонические эффекты твердофазных превращений в горных породах. М., 2008. 220 с.
10. Taran Yu. V. *et al.* // J. Phys.: Condens. Matter. 2008. V. 20. P. 104258(4).
11. Furman W. I. *et al.* // Neutron Spectroscopy, Nuclear Structure, Related Topics (ISINN-16). June 11–14 2008 (in press).
12. Mitsyna L. V. *et al.* // Nucl. Phys. A. 2009 (in press).
13. Kamanin D. V. *et al.* // Intern. J. Mod. Phys. E. 2008. V. 17, No. 10. P. 2250–2254.
14. Sukhovej A. M. *et al.* // Phys. At. Nucl. 2008. V. 71, No. 6. P. 982–997.
15. Frontasyeva M. V. // Ibid. No. 10. P. 1684–1695.
16. Budzynski P. *et al.* // Synchrotron and Neutron Techn. 2008. V. 2, No. 4. P. 657–662.
17. Krzyzanowska H. *et al.* // J. Non-Crystalline Solids. 2008. V. 354. P. 4367–4374.
18. Belushkin A. V. *et al.* 2D Position-Sensitive Monitor for Thermal Neutrons // Tech. Phys. 2008. V. 78, No. 1. P. 121–125.
19. Kuzmin E. S. *et al.* // Instr. Exp. Tech. 2008. No. 5. P. 5–13.
20. Кирилов А. С. и др. Препринт ОИЯИ Р10-2008-23. Дубна, 2008; ПТЭ (в печати).
21. Manoshin S., Ioffe A. // Nucl. Instr. Meth. A. 2008. V. 586, No. 1. P. 81–85.