

# 1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

## 1.1. ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД

Основные цели исследований по теме состояли в изучении структуры, динамики и микроскопических свойств наносистем и новых материалов, интересных с точки зрения фундаментальных исследований, или имеющих большое значение для развития нанотехнологий в сфере электроники, фармакологии, медицины, химии, современной физики конденсированных сред и смежных областей методами рассеяния нейтронов и комплементарными методами.

Основная часть научных экспериментальных работ проводилась на базе комплекса спектрометров модернизированного реактора ИБР-2 в соответствии с ПТП ОИЯИ и пользовательской программой ЛНФ. Также по некоторым научным задачам работа проводилась в нейтронных и синхротронных центрах в России и за рубежом согласно существующим соглашениям о сотрудничестве, а также в соответствии с принятыми заявками на эксперимент. Также проводились работы по модернизации существующих и созданию новых спектрометров в соответствии с планами развития комплекса спектрометров реактора ИБР-2М. Основное внимание было уделено реализации первоприоритетных задач - созданию нового дифрактометра для исследования микрообразцов ДН-6 и многофункционального рефлектометра ГРЭЙНС.

В рамках исследований по теме сотрудники отдела НИКС поддерживали широкие связи со многими научными организациями в странах-участницах ОИЯИ, а также других странах. Как правило, сотрудничество оформлялось совместными протоколами или соглашениями. В России наиболее активное сотрудничество велось с близкими по тематике организациями, такими как НИЦ КИ, ПИЯФ, ГНЦ РФ ФЭИ, МГУ, ИФМ УрО РАН, ИК РАН, ИЯИ РАН и др.

Главными направлениями научных исследований, реализация которых осуществлялась сотрудниками НЭО НИКС, являются:

- Исследование структуры и свойств новых кристаллических материалов и наносистем методом дифракции нейтронов;
- Исследование магнитных коллоидных систем в объеме и на границах раздела;
- Исследование структуры углеродных наноматериалов;
- Магнетизм слоистых наноструктур;
- Исследование надмолекулярной структуры и функциональных характеристик биологических, коллоидных и полимерных нанодисперсных материалов;
- Исследования наноструктуры и свойств липидных мембран и липидных комплексов;
- Исследование атомной динамики наносистем и материалов методом неупругого рассеяния нейтронов;
- Исследование текстуры и свойств минералов и горных пород;
- Анализ внутренних напряжений в объемных материалах и изделиях.

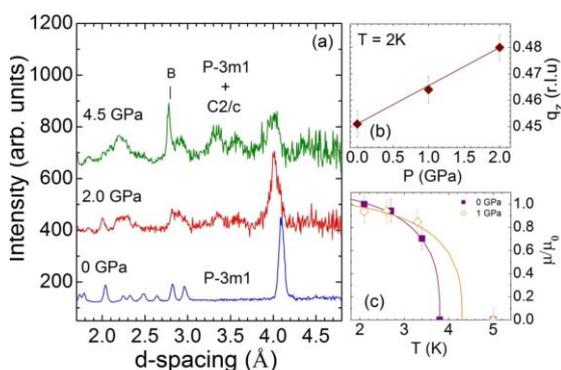
### 1.1.1. Научные результаты

#### 1.1.1.1. Структурные исследования новых оксидных, интерметаллических и наноструктурированных материалов

Проведено исследование кристаллической, магнитной структуры несобственного мультиферроика  $\text{RbFe}(\text{MoO}_4)_2$ , методом нейтронной дифракции, рентгеновской дифракции и магнитной восприимчивости в диапазоне высоких давлений 0 – 10 ГПа и температур 1.5 – 300 К, [1] (рис. 1). В данном соединении спонтанная электрическая поляризация возникает вследствие нарушения инверсионной симметрии за счет возникновения неколлинеарного

## 1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

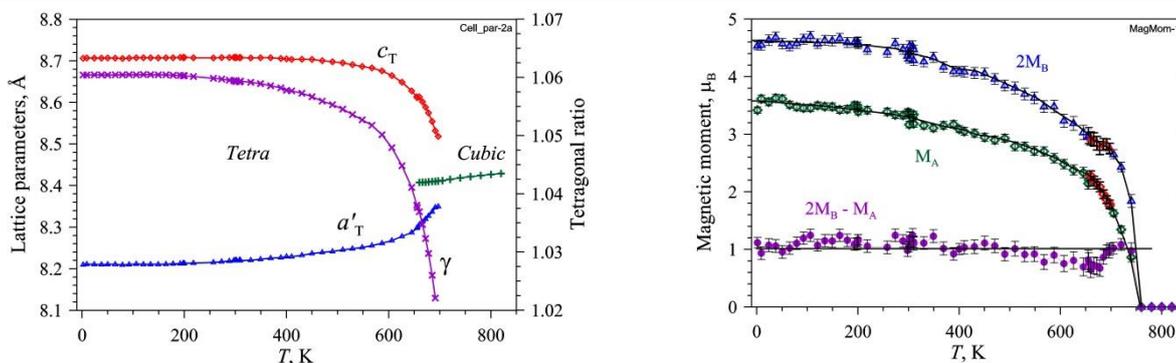
антиферромагнитного упорядочения. Кроме того, магнитные моменты железа в тригональной структуре  $\text{RbFe}(\text{MoO}_4)_2$  (пр. гр.  $P-3m1$ ) образуют 2D магнитную треугольную решетку, при этом магнитные взаимодействия между магнитными плоскостями в 25 раз слабее внутрислоистых. С повышением давления в  $\text{RbFe}(\text{MoO}_4)_2$  наблюдался структурный фазовый переход в моноклинную фазу симметрии  $C2/c$ , реализующийся через широкую область структурного фазового расслоения (остаточная фракция исходной тригональной фазы наблюдалась вплоть до 10 ГПа). Симметрия антиферромагнитного (АФМ) упорядочения для тригональной фазы характеризуется волновым вектором  $q = (1/3, 0, k_z)$ . С повышением давления наблюдалось увеличение величины  $k_z$  от 0.45 до 0.48, и увеличение температуры Нееля с барическим коэффициентом  $0.09 \text{ ГПа}^{-1}$ . В моноклинной фазе высокого давления установления магнитного упорядочения не наблюдалось вплоть до температуры 1.5 К.



**Рис. 1.** Участки нейтронных дифракционных спектров (дифрактометр ДН-12, ИБР-2), демонстрирующие структурный фазовый переход в  $\text{RbFe}(\text{MoO}_4)_2$  при высоком давлении (а). Знаком “В” обозначен пик от наковален камеры давления. Барическая зависимость компоненты  $k_z$  вектора распространения АФМ структуры, соответствующей тригональной фазе  $\text{RbFe}(\text{MoO}_4)_2$  и рассчитанной при  $T = 2 \text{ K}$  (б). Температурные зависимости упорядоченного магнитного момента Fe для тригональной фазы при различных давлениях, нормированных на значение при  $T = 2 \text{ K}$  (с).

Продолжены исследования структурного и магнитного фазовых переходов в феррите меди  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  [2] (рис. 2). Дополнительные нейтронные дифракционные эксперименты были проведены на установке HRPT (SINQ, PSI, Швейцария). Феррит меди кристаллизуется в структуре классической шпинели и может находиться в двух структурных модификациях – кубической (пр. гр.  $Fd\bar{3}m$ ) при  $T > 700 \text{ K}$  и тетрагональной (пр. гр.  $I4_1/amd$ ) ниже этой температуры. Характер температурных изменений межатомных расстояний свидетельствует о том, что в основе структурного перехода лежит ян-теллеровское искажение  $\text{CuO}_6$  октаэдров, а не взаимная миграция атомов меди и железа. Установлено, что при переходах между тетрагональной и кубической фазами оба структурных состояния равновесно сосуществуют в довольно широком температурном интервале ( $\sim 40^\circ\text{C}$ ). При этом характерные размеры доменов сосуществующих фаз велики ( $\sim 1000 \text{ \AA}$ , мезоскопическое фазовое расслоение). Одной из причин стабилизации такого состояния являются дальнедействующие внутренние напряжения внутри кристаллитов, возникающие при структурном фазовом переходе и проявляющиеся в сильном анизотропном уширении дифракционных пиков. Температура образования ферритмагнитного упорядочения заметно выше (на  $\sim 50 \text{ K}$ ) температуры структурного перехода. Это свидетельствует о слабой связи между решеточной (орбитальной) и магнитной (спиновой) подсистемами. Отсутствие связи структурного и магнитного переходов в  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  является одним из существенных отличий этой шпинели от нормальных шпинелей с магнитными катионами только в В-позициях, в которых из-за образования магнитными атомами “пирохлорной решетки” дальний магнитный порядок образуется только вследствие ослабления фрустраций при структурном переходе.

## 1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

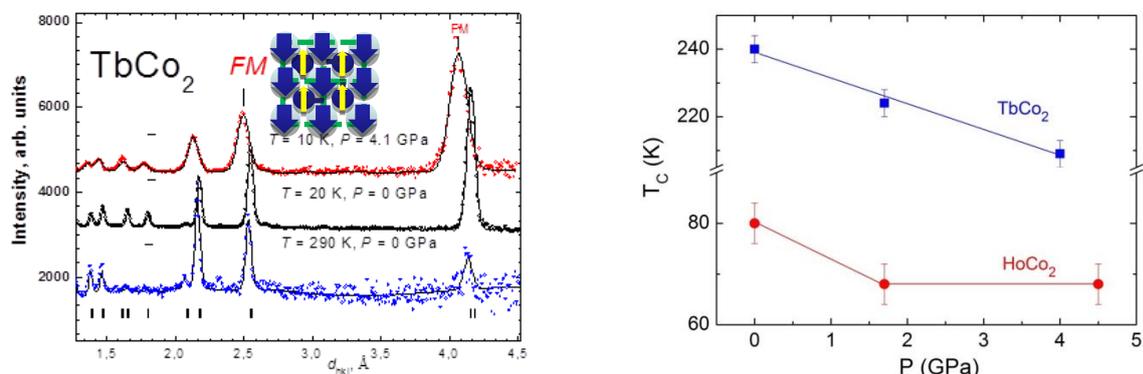


**Рис. 2.** Слева: Зависимость параметров ячейки кубической и тетрагональной фазы (левая шкала) и тетрагонального отношения ( $\gamma$ , правая шкала) от температуры. Для удобства восприятия в тетрагональной фазе показан параметр  $a'_T = \sqrt{2} \cdot a_T$ . Некоторые температурные точки измерялись дважды. Статистические ошибки меньше размера символов. Справа: зависимости от температуры (данные получены при нагревании) упорядоченного магнитного момента в октаэдрических (удвоенная величина,  $2M_B$ ) и тетраэдрических ( $M_A$ ) позициях и разности между ними ( $2M_B - M_A$ ). Указаны статистические ошибки точек. Линии через точки  $2M_B$  и  $M_A$  проведены для удобства восприятия. Линия, проведенная через их разность, является средним значением ( $1.01 \mu_B$ ) по всем точкам в интервале (1.5 – 750) К.

На дифрактометре ФДВР продолжены исследования электродов литий-ионных аккумуляторов [3]. *In situ* нейтронные дифракционные эксперименты были проведены для изучения в реальном времени процессов заряда – разряда коммерческих литиевых аккумуляторов с электродами из  $\text{LiFePO}_4$  (LFP) и графита. Экспериментальные данные позволили в деталях проследить стадийность процесса внедрения Li в графит с последовательным образованием нескольких  $\text{LiC}_n$  фаз и обратимый переход  $\text{LiFePO}_4 \leftrightarrow \text{FePO}_4$ . Сравнение процессов заряда/разряда в батареях с катодом из чистого LFP и LFP, содержащим ~1% ванадия (LFPV), показало, что во втором случае существенно большая доля материала анода переходит в конечное  $\text{LiC}_6$  состояние из-за меньшей относительной массы графита к фтор-железофосфату. Анализ изменений микроструктуры материала катода при внедрении в него ванадия показал значительное увеличение степени дефектности структуры, что коррелирует с лучшими электрохимическими свойствами LFPV по сравнению с LFP.

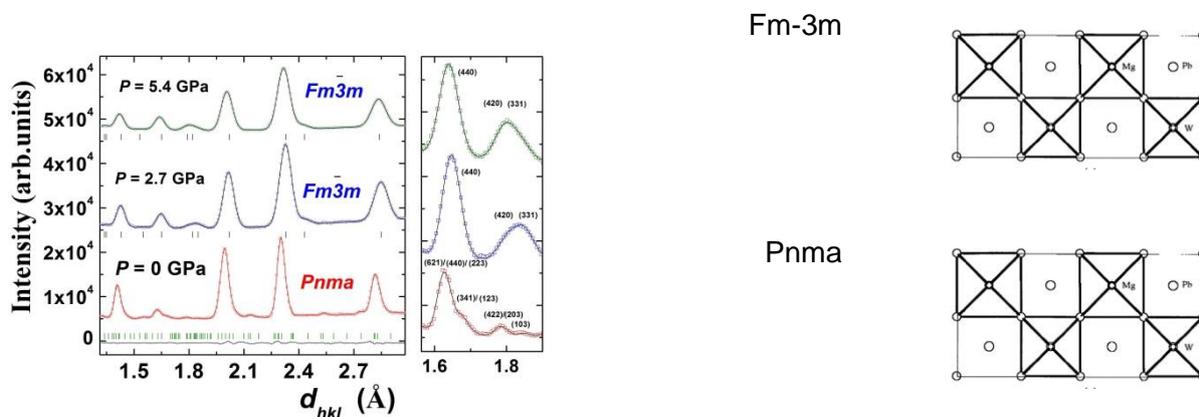
На дифрактометре ДН-12 проведено исследование кристаллической и магнитной структуры интерметаллидов кобальта  $\text{RCo}_2$  ( $R = \text{Tb}, \text{Ho}$ ) в диапазоне давлений до 5 ГПа [4], **рис. 3.** В данных соединениях обнаружены необычные физические явления, среди которых – переход из немагнитного в магнитно-упорядоченное состояние подрешетки кобальта при изменении ионного радиуса и магнитного момента R – катиона. Установлено, что в  $\text{TbCo}_2$  под давлением происходит резкое линейное уменьшение температуры Кюри с барическим коэффициентом  $-9$  К/ГПа и значения упорядоченного магнитного момента с коэффициентом  $-0.1 \mu_B/\text{ГПа}$ . При это величина упорядоченного магнитного момента Tb не изменяется под давлением. В  $\text{HoCo}_2$  изменение температуры Кюри имеет нелинейный характер, в диапазоне 0-1.7 ГПа ее уменьшение характеризуется барическим коэффициентом  $-6$  К/ГПа, при более высоких давлениях она слабо зависит от давления. Упорядоченный магнитный момент в этом соединении под давлением уменьшается с примерно таким же коэффициентом, как а в  $\text{TbCo}_2$ ,  $-0.1 \mu_B/\text{ГПа}$ .

# 1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ



**Рис. 3.** Слева: Нейтронные дифракционные спектры  $TbCo_2$ , измеренные на дифрактометре ДН-12 при различных давлениях и температурах. Знаками “FM” обозначены пики с наибольшим магнитным вкладом от ферромагнитного упорядочения подрешеток Tb и Co. Справа: барические зависимости температуры Кюри в  $TbCo_2$  и  $HoCo_2$ .

На дифрактометре ДН-6 проведено исследование кристаллической структуры двойного перовскитного антисегнетоэлектрика  $Pb_2MgWO_6$  при высоких давлениях до 5.4 ГПа и комнатной температуре (**рис. 4**). При давлениях  $P \sim 1$  ГПа наблюдался структурный фазовый переход из антисегнетоэлектрической орторомбической фазы симметрии  $Pnma$  в параэлектрическую кубическую фазу симметрии  $Fm-3m$ . Определены структурные параметры обеих фаз и их барические зависимости.



**Рис. 4.** Слева: нейтронные дифракционные спектры  $Pb_2MgWO_6$ , измеренные при различных давлениях. Справа: схематическое изображение кристаллической структуры антисегнетоэлектрической орторомбической фазы симметрии  $Pnma$  и кубической параэлектрической фазы симметрии  $Fm-3m$ .

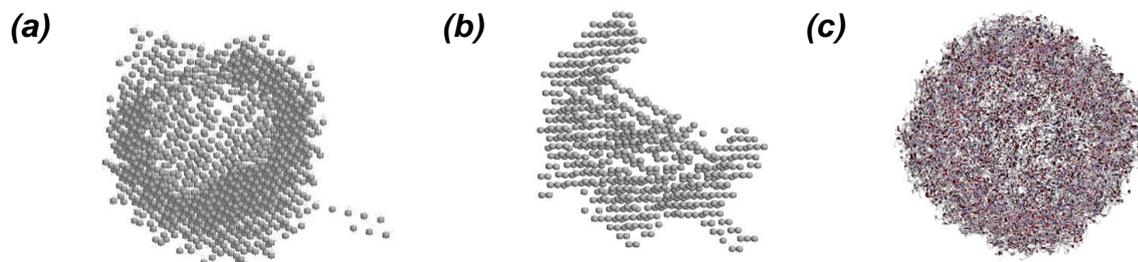
Продолжены исследования структурных особенностей и люминесцентных свойств кристаллофосфоров на основе лютеций-алюминиевых гранатов  $Lu_3Al_5O_{12}:Ce^{3+}$ , допированных наночастицами оксида лютеция  $Lu_2O_3$ . Установлено, что в данной системе в процессе термообработки не образуются новые структурные фазы, однако происходит формирование устойчивой дефектной области на границе раздела фаз  $LuAG:Ce$  и  $Lu_2O_3$ , что подтверждается изменением всех структурных характеристик  $LuAG:Ce$  после введения оксида лютеция.

## 1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

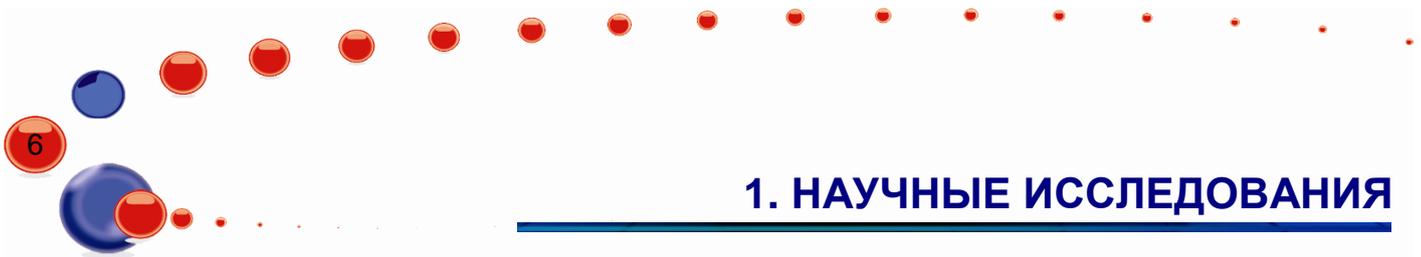
### 1.1.1.2 Исследования магнитных жидкостей и наночастиц

Рассмотрены экспериментальные аспекты наблюдения эффектов взаимодействия частиц в полидисперсных магнитных жидкостях посредством малоуглового рассеяния нейтронов и рентгеновских лучей [5]. Выделены различные режимы взаимодействия, предсказываемые теорией дипольных жидкостей, в отношении анализа структурного фактора рассеяния в различных условиях (отсутствие и присутствие внешнего магнитного поля). Показано, что наиболее перспективным для экспериментальных исследований является режим слабой связи (малая константа дипольного взаимодействия, большая концентрация частиц) в случае магнитных жидкостей с твердыми и мягкими стабилизирующими оболочками. Из сравнения экспериментальных данных рассеяния магнитными жидкостями с разной стабилизацией следует, что наиболее информативными системами с этой точки зрения являются классические магнитные жидкости на основе неполярных органических растворителей со стабилизацией магнетитовых наночастиц (характерный размер 8-10 нм) олеиновой кислотой. Рассмотрен также и режим образования равновесных цепочечных агрегатов (большая константа дипольного взаимодействия, малая концентрация частиц), который является наиболее удобным для изучения посредством малоуглового рассеяния. Фактически в данном режиме магнитную жидкость можно представить как двух-фазный раствор, состоящий из невзаимодействующих агрегатов и отдельных частиц. На практике, однако, такой режим трудно наблюдать в чистом виде из-за наличия дополнительной коллоидной агрегации, которая появляется в процессе приготовления как результат сильного диполь-дипольного взаимодействия. В процессе экспериментального исследования обнаружено, что в полидисперсных магнитных жидкостях присутствуют специфические магнитные корреляции, которые отвечают сильному эффективному отталкиванию в концентрированных системах (объемная доля магнитного материала  $\sim 10\%$ ). В отличие от корреляций в положении частиц, которые исчезают при малых концентрациях (объемная доля магнитного материала  $\sim 1\%$ ), магнитные корреляции сохраняются при таких концентрациях.

Продолжено детальное изучение водных растворов магнетоферритина (искусственного биологического комплекса апоферритина с различным содержанием магнитного материала в белковой полости), представляющих медико-биологический интерес. Используя данные малоуглового рассеяния синхротронного излучения и нейтронов (в последнем случае применена вариация контраста), получено, что даже для относительно малых факторов загрузки магнитного материала (магнетит при 100-200 атомов железа на молекулу апоферритина) в таких системах наблюдается частичное разрушение белковой оболочки (**рис. 5**). Показано, что данный эффект увеличивается с ростом фактора загрузки. Дополнительно при больших загрузках ( $> 500$ ) наблюдается частичная агрегация комплексов.

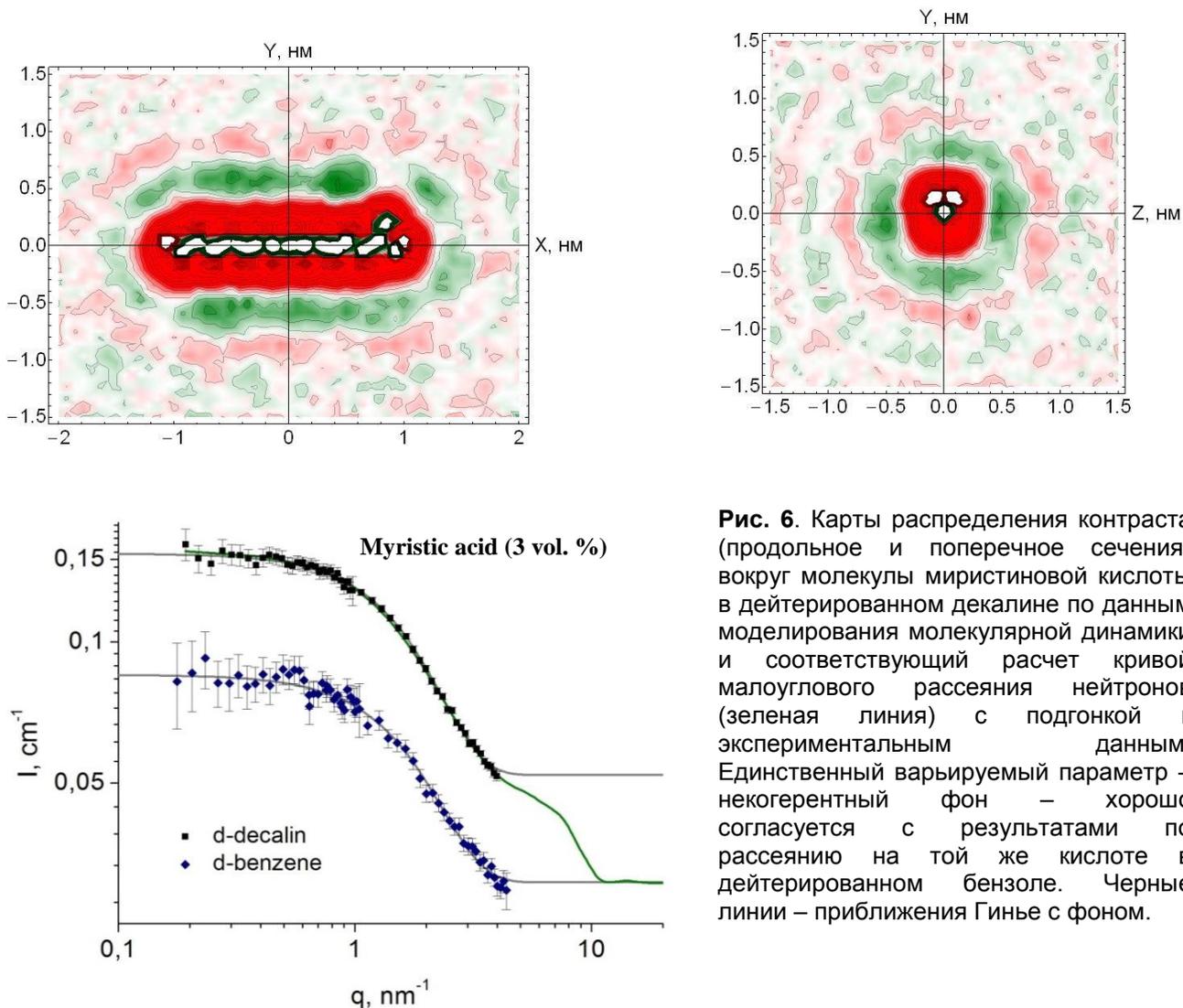


**Рис. 5.** Результаты моделирования на основе экспериментальных данных малоуглового рассеяния на апоферритине (а); белковой компоненте магнетоферритина с фактором загрузки  $LF = 156$  (b) и сравнение с кристаллографическими данными апоферритина (с).



# 1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Малоугловое рассеяние нейтронов использовано совместно с моделированием молекулярной динамики для исследования взаимодействия растворителя и насыщенных монокарбоновых кислот (миристиновая кислота, стеариновая кислота), используемых для стабилизации магнитных наночастиц в магнитных жидкостях на основе неполярных органических растворителей [6]. С помощью молекулярной динамики получено распределение плотности длины рассеяния (ПДР) нейтронов вокруг молекул кислот. Найденная при этом модуляция распределения ПДР в зависимости от длины кислоты согласуется с данными малоуглового рассеяния на слабоконцентрированных растворах с дейтерированными растворителями. В частности, используя расчетные распределения ПДР, удается описать полностью экспериментальные кривые рассеяния вплоть до остаточного некогерентного фона (рис. 6).



**Рис. 6.** Карты распределения контраста (продольное и поперечное сечения) вокруг молекулы миристиновой кислоты в дейтерированном декалине по данным моделирования молекулярной динамики и соответствующий расчет кривой малоуглового рассеяния нейтронов (зеленая линия) с подгонкой к экспериментальным данным. Единственный варьируемый параметр – некогерентный фон – хорошо согласуется с результатами по рассеянию на той же кислоте в дейтерированном бензоле. Черные линии – приближения Гинье с фоном.

Проведен анализ данных нейтронной рефлектометрии на границе раздела магнитная жидкость (магнетит/олеат натрия/D<sub>2</sub>O)-кремний. Наблюден сильный вклад диффузного

## 1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

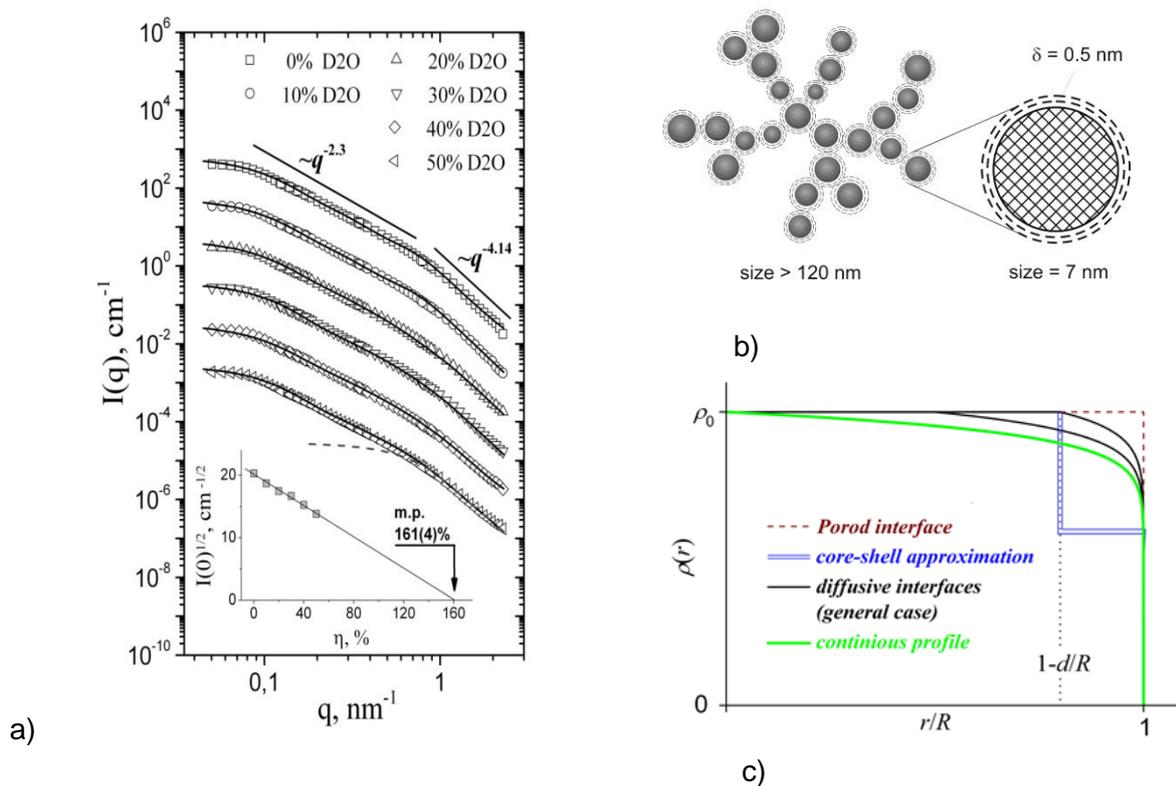
рассеяния, основной причиной которого является малоугловое рассеяние на наночастицах магнитной жидкости, адсорбированных на поверхности кремния. Проведено исследование различных способов обработки фона при выделении из экспериментальных данных кривой зеркального отражения [7]. Из сравнения структурных особенностей магнитной жидкости на границе раздела и в объеме (данные малоуглового рассеяния) сделан вывод о том, что на поверхности кремния преимущественно адсорбируются отдельных частиц, а не агрегаты.

С помощью малоуглового рассеяния нейтронов исследовано поведение полиэтиленгликоля (полимера, добавляемого в состав частиц водных магнитных жидкостей для увеличения их биосовместимости) с низкой молекулярной массой ( $M_w = 400, 1000$ ) в тяжелой воде [8]. Показано, что в концентрированных растворах полимерные молекулы частично ассоциируются в агрегаты с размером свыше 30 нм. Рассеяние на слабоконцентрированных растворах (< 3%) указывает на тип полимера «гауссов клубок»; соответствующий форм-фактор (рассчитываемый по формуле Дебая) использован при анализе рассеяния на концентрированных растворах, которое хорошо описывается в рамках модели «взаимодействующие гауссовы клубки».

### 1.1.1.3 Исследование углеродных наноматериалов

На основе анализа данных малоуглового рассеяния нейтронов (включая вариацию контраста) на жидких дисперсиях детонационных нанодIAMAZOV предложен специальный непрерывный пространственный переход углеродных состояний от кристаллического алмаза ( $sp^3$ -гибридизация) внутри частиц к графитоподобному состоянию ( $sp^2$ -гибридизация) на поверхности (рис. 7).

Такой переход позволяет совместить экспериментально наблюдаемый сдвиг в средней плотности длины рассеяния частиц от плотности кристаллического алмаза (свидетельство наличия неалмазной компоненты в составе частиц) и диффузный характер поверхности, проявляющийся в специфическом отклонении от закона Порода в рассеянии [9]. Предложенный профиль имеет простое степенное поведение и, благодаря ряду особенностей, объясняет равномерное спадание общей интенсивности при вариации контраста, свойственное однородным частицам. Используемая ранее при описании структуры частиц организация типа «сферическое ядро – графеновая оболочка», дающая для толщины неалмазной компоненты на поверхности частиц значение 0.5 нм, может быть рассмотрена как приближение к данному профилю, который естественным образом отвечает переходу алмаз-графен в терминах усредненной плотности длины рассеяния. При этом неалмазные переходные связи (предположительно  $sp^{2+x}$ -связи) располагаются преимущественно ближе к поверхности частиц. Рассмотренный профиль также позволяет напрямую определить параметры функции распределения нанодIAMAZOV по размерам.



**Рис. 7.** Кривые малоуглового рассеяния нейтронов на жидких дисперсиях детонационных наноалмазов, измеренные с вариацией контраста (а). Схематический вид кластера ДНА в жидких дисперсиях с выделением его основной структурной единицы – частицы, составленной из кристаллического алмаза и графеновой оболочки (б). Рассмотрены различные приближения такой оболочки. Наилучшим образом экспериментальные данные малоуглового рассеяния нейтронов описывает диффузный непрерывный профиль - зеленая линия (с).

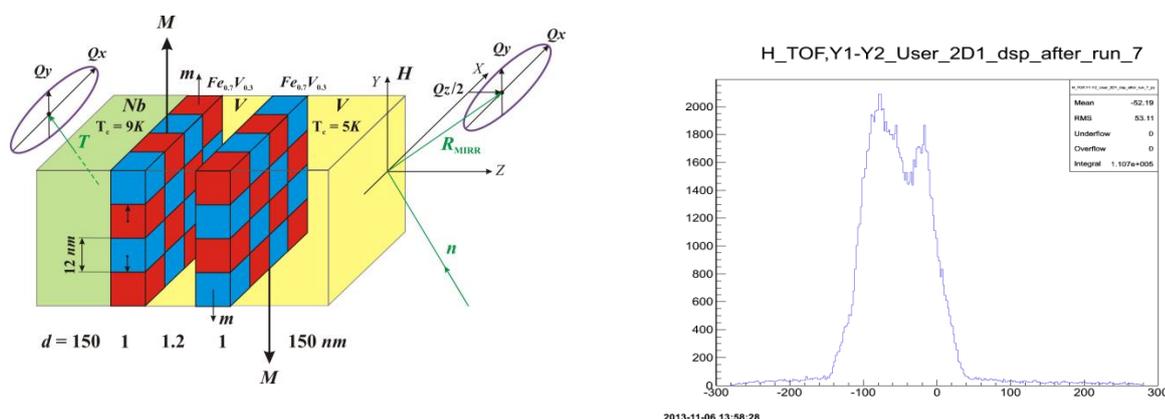
Методом малоуглового рассеяния нейтронов проведена сравнительная структурная характеристика кластеров фуллеренов  $C_{60}$  и  $C_{70}$  в воде и в смешанном растворителе NMP/ $H_2O$ . Водные растворы получали методом замены растворителя. Для получения водно-органической системы  $C_{60}$ /NMP/ $H_2O$  фуллерен изначально растворялся в органическом растворителе с последующим добавлением воды, так что доля NMP в конечном растворе составляла не более 0.005% по объему. Получено распределение по размерам кластеров для каждого из образцов. Исследована возможность использования растворов фуллеренов на основе NMP/ $H_2O$  в биомедицинских применениях с точки зрения токсичности. В частности, наблюдается корреляция между размерами кластеров фуллерена в растворах и их цитотоксичностью [10].

#### 1.1.1.4 Исследование магнитных наноструктур

На спектрометре РЕМУР проведено исследование магнитного состояния слоистой наноструктуры Ta(10нм)/V(150нм)/ $Fe_{0.7}V_{0.3}$ (1нм)/V(1.2нм)/ $Fe_{0.7}V_{0.3}$ /Nb(150нм)/Si, состоящей из ферромагнитных и сверхпроводящих слоёв, методом рефлектометрии поляризованных нейтронов (рис. 8). Предполагалось, что в такой наноструктуре могут реализовываться три явления. Первое явление – антиферромагнитное упорядочение пары слоёв  $Fe_{0.7}V_{0.3}$ (1нм) во внешнем магнитном поле. При этом, степень антиферромагнетизма должна была возрастать

## 1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

при сверхпроводящих переходах слоёв ниобия ( $T_c=8.5\text{K}$ ) и ванадия ( $4.8\text{K}$ ). Второе явление – это намагничивание сверхпроводящей пары ферромагнитными слоями, что проявляется в намагничивании сверхпроводящего слоя. И, наконец, третье явление – это образование доменной структуры с малыми размерами доменов и нулевой средней намагниченностью.



**Рис. 8.** Слева: схематическое представление криптоферромагнитного состояния. Справа: Зависимость от номера канала детектора в направлении по вертикали интенсивности прошедшего через образец пучка поляризованных нейтронов при длине волны  $1.29 \pm 0.01 \text{ \AA}$ , падающего на образец под углом скольжения 5.4 мрад. Видны пики дифракционного рассеяния нейтронов на решётке (межплоскостное расстояние 50 нм) доменов с линейным размером 12 нм.

Измерения были проведены в интервале температуры 1.3-110K и диапазоне напряжённости магнитного поля 30 Э- 9.5 кЭ. В диапазоне 1.3-10K наблюдалось рассеяние нейтронов, максимум которого находился при температуре 8K, что ниже температуры сверхпроводящего перехода в слое ниобия. Рассеяние регистрировалось по убыванию нейтронов из зеркально отражённого и преломлённого пучков и по увеличению интенсивности нейтронов при определённых углах в вертикальной плоскости (моды собственно малоуглового и малоуглового дифракционного рассеяния (рис. 8) в скользящей геометрии). Для размера магнитного домена при 8 K получено значение  $d = 12\text{nm}$ . Направление магнитных моментов доменов изменялось периодически на линейных масштабах  $L_1 = 43\text{ nm}$  (масштаб антиферромагнитного упорядочения) и  $L_2 = 87\text{ nm}$ . С уменьшением температуры и увеличением магнитного поля  $L_1$  уменьшалось, а  $L_2$  увеличивалось. В магнитном поле 2.5 кЭ, то есть, при наличии магнитной анизотропии, в структуре реализовывалось антиферромагнитное упорядочение пары ближайших к друг другу доменов ( $d = 11\text{ nm}$ ,  $L_1 = 22\text{ nm}$ ).

Полученные экспериментальные данные указывают на существование в определённом интервале температур ниже температуры сверхпроводящего перехода фазы в виде решётки доменов, в которой происходит вращение вектора намагниченности и которая существует в двух направлениях. На последнее указывает большое рассеяние, не объяснимое одним рассеянием в вертикальном направлении. Отсутствие рассеянных во втором направлении нейтронов указывает на то, что период решётки и в этом направлении находится в диапазоне меньше тысячи ангстрем.

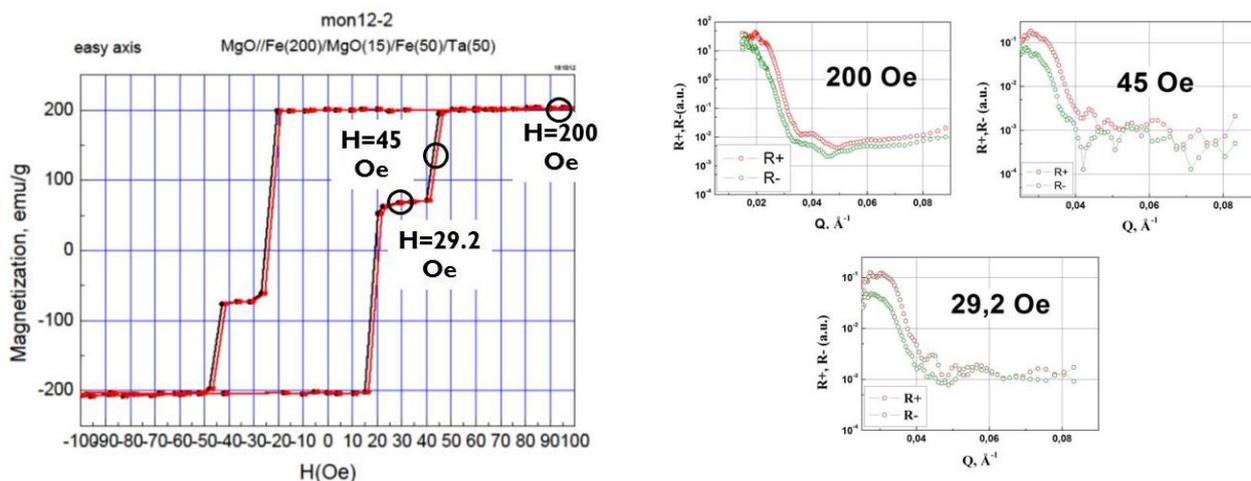
Данные наблюдения являются первым прямым экспериментальным доказательством реализации криптоферромагнитной фазы в сверхпроводящем ферромагнетике, которое заключается в установлении антиферромагнитного упорядочения на масштабе сверхпроводящей длины когерентности (размер сверхпроводящей пары). При этом, магнитный

## 1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

период криптоферромагнитного состояния оказался порядка 1000 раз меньше размера обычного домена в ферромагнетике (микрометры).

На спектрометре РЕМУР изучалась слоистая структура  $12 \times [\text{Fe}(35\text{\AA})\text{Cr}(4.4\text{\AA})/\text{Gd}(50\text{\AA})]$ , где обменное взаимодействие между РЗ и ПМ ферромагнетиками регулировалось прослойкой хрома. Установлено, что при комнатной температуре (выше температуры Кюри объемного гадолиния) в слое гадолиния есть магнитный момент в приповерхностной области вблизи межслойных границ, при этом, магнитные моменты слоёв гадолиния и железа имеют разные знаки на направление магнитного поля.

Проведено исследование ферромагнитных многослойных наноструктур типа Fe/MgO/Fe, в которых магнитные слои отделены друг от друга немагнитными прослойками. Такие наносистемы, благодаря наблюдаемому в них эффекту гигантского туннельного магнетосопротивления (ТМС), представляют большой технологический и научный интерес, так как могут использоваться в качестве элементов устройств спинтроники. Этот эффект обусловлен туннелированием электронов между слоями Fe через диэлектрическую прослойку MgO. Толщина прослойки влияет на туннелирование электронов, участвующих в обменном взаимодействии между ферромагнитными слоями и меняет магнитные свойства структуры. Изучались так называемые спиновые клапаны на основе тонкопленочной структуры MgO//Fe(200Å)/MgO(15Å)/Fe(50Å)/Ta(50Å). Для подобных систем характерно наличие особенностей в виде полочек на петле гистерезиса. Были измерены коэффициенты отражения в полях, соответствующих характерным точкам на гистерезисной кривой (рис. 9). Измерения показали хорошее качество приготовленных образцов и выявили интересное магнитное поведение, заключающееся в конкуренции зеемановского взаимодействия, межслойного обменного взаимодействия и магнитной анизотропии внутри слоев железа.

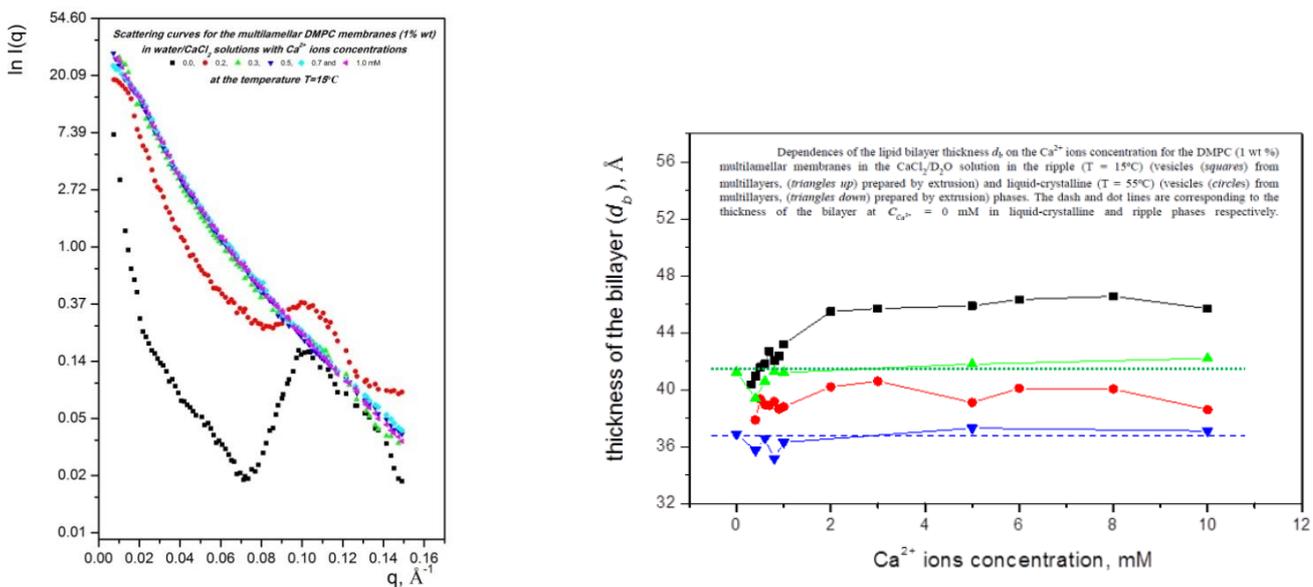


**Рис. 9.** Слева: Кривая намагничивания для структуры MgO//Fe(200Å)/MgO(15Å)/Fe(50Å)/Ta(50Å) при направлении внешнего магнитного поля вдоль легкой оси. Кружками обозначены точки, в которых измерялись коэффициенты отражения. Справа: коэффициенты отражения, полученные для структуры MgO//Fe(200Å)/MgO(15Å)/Fe(50Å)/Ta(50Å).

## 1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 1.1.1.5 Исследование биологических наносистем, липидных мембран и липидных комплексов

Методом малоуглового рассеяния нейтронов изучен процесс спонтанного формирования фосфолипидных везикул в присутствии ионов кальция (рис. 10). Впервые детально изучено поведение межмембранного расстояния в области перехода как для мембран в жидкой, так и в гель фазе. Показано, что переход системы из связанного состояния в несвязанное в обеих фазах носит непрерывный характер, что является неординарным результатом для гель-фазы. Предшествующие теоретические работы для гель фазы указывали на то, что при добавлении ионов кальция к липидным мультислойным мембранам должен происходить резкий переход мембран из связанного в несвязанное состояние, поскольку в гель фазе отсутствуют ондуляции (мембрана более «жесткая», чем в жидкой фазе). Проведенные исследования показали, что влияние сил ондуляций на межмембранные взаимодействия имеет заметный вклад. Определены критические концентрации ионов кальция, при которых исследуемый переход происходит: в геле (0,3 мМ) и жидкой (0,4 мМ) фазах и, кроме того, непосредственно определены константы связывания ионов кальция с липидными мембранами: 22 М<sup>-1</sup> в гель и 24 М<sup>-1</sup> в жидкой фазах.



**Рис. 10.** Слева: кривые малоуглового рассеяния нейтронов от мультислойных мембран DMPC (1 % wt) в растворе вода/ $\text{CaCl}_2$  для молярных концентраций ионов  $\text{Ca}^{2+}$  0.0, 0.2, 0.3, 0.5, 0.7 1.0 мМ. Справа: концентрационные зависимости толщины бислоя в различных фазах.

Проведены исследования упаковки внутренней мембраны (кристы) митохондрий сердца крысы. Данный тип митохондрий подвергается большей нагрузке и имеет большую площадь внутренней мембраны по сравнению с митохондриями печени, исследованными ранее. В кривых рассеяния для митохондрий сердца были обнаружены дифракционные пики, которые можно связать с регулярным расположением внутренней митохондриальной мембраны (структурный параметр равен 220  $\text{\AA}$ ). Применение к митохондриям осмотического шока, а ргоіг разрушающего структуру митохондрий, приводит к исчезновению в кривых рассеяния наблюдаемых пиков. Это подтверждает связь дифракционных пиков с упаковкой внутренней мембраны. С помощью метода вариации контраста были получены кривые рассеяния

## 1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

отдельно для белковой и липидной компонент митохондрий. Показано, что главный вклад в появление пиков делает липидный бислой. Также показано, что на организацию внутренней мембраны оказывает тоничность внешней среды и присутствие ионов кальция. Кальций и тоничность среды играют важные роли в митохондриальной и клеточной сигнализациях. Примеры кривых рассеяния приведены на

Начаты работы по разработке методики исследования структуры мембранных белков с помощью малоуглового рассеяния нейтронов. В качестве системы были выбраны растворы бицелл с встроенным в них белком бактериородопсином. На данный момент освоена методика приготовления бицелл, встраивания в них мембранного белка. С помощью малоуглового рассеяния получена информация о структуре и поведении бицелл при различных условиях: температура, концентрация, липидный состав, присутствие белка.

Начаты исследования особенностей структурного строения белков коннексина с помощью малоуглового рассеяния нейтронов и рентгеновских лучей на растворе различных участков коннексина. Коннексыны являются селективными каналами, играющими центральную роль в клеточной коммуникации, структурные аномалии данного белка вызывают серьезные заболевания сердца. Коннексыны имеют мембранную и водорастворимую части. Эксперименты показали, что водорастворимая часть коннексина вероятно представляет собой димер и имеет вытянутую форму. Для стабилизации раствора мембранной части коннексина используется линейный полимер. По данным малоуглового рассеяния рентгеновских лучей установлено, что полимер образует массивную «шубу» вокруг белка, что значительно затрудняет получение информации о структуре белка «вне» полимера. Применение нейтронного рассеяния и вариации контраста оказалось затруднительным, т.к. в присутствии тяжелой воды белок агрегирует.

Продолжены исследования в области модельных систем для переноса лекарств [11]. С помощью малоуглового рассеяния нейтронов и динамического рассеяния света исследованы различные агрегационные состояния в системе фосфатидилхолин-деоксихолат (DPPC/NaDC). Установлено, что в зависимости от концентрации NaDC, в данной системе образуется широкий спектр супрамолекулярных образований – эллипсоидальные везикулы (1.5 mM NaDC), лентоподобные структуры (3.5 mM NaDC), сферические смешанные мицеллы (10 mM NaDC).

### 1.1.1.6. Полимерные материалы

Исследованы особенности структурного строения новых полимерных композитных материалов с наночастицами железа от 10 до 100 нанометров, обладающих уникальными механическими и реологическими свойствами, методами атомной силовой микроскопии и малоуглового рассеяния нейтронов [12] (рис. 11.).

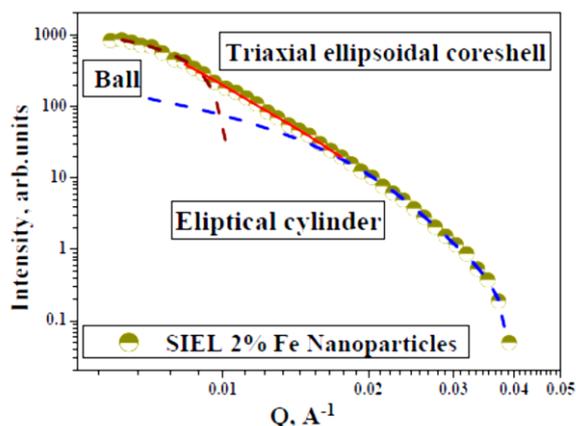


Рис. 11. Кривая малоуглового рассеяния нейтронов от нового полимерного композитного материала с наночастицами железа.

## 1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Такие материалы испытывают значительные изменения под действием магнитного поля. Так, в случае использования гомогенного магнитного поля с интенсивностью до 0.4Т модуль всестороннего сжатия изменяется в 100 раз. Под действием достаточно сильного магнитного поля образцы ведут себя как упругопластический материал.

В рамках исследования кинетики стеклования полимеров выполнено моделирование стеклования полистирола в широком диапазоне скоростей охлаждения ( $10^{-4} - 2$  К/сек). Задачей исследований являлось определение лучшей модели для описания экспериментальной зависимости изобарной теплоемкости системы в интервале температур 90-130°C. В качестве базовых подходов для описания стеклования полимеров использовались метод Тула-Нарайанасвами и подход Шмельцера-Гутзова с различными выражениями для времени релаксации системы к равновесию. Показано, что для всех существующих подходов необходимо сильное изменение параметров моделирования (как минимум, параметра неэкспоненциальности  $\beta$ ) для различных скоростей охлаждения. Показано, что метод Шмельцера-Гутзова с оригинальным выражением для времени релаксации системы  $\tau$  позволяет не менее качественно описывать экспериментальные данные по дифференциальной сканирующей калориметрии [13].

### 1.1.1.7. Атомная и молекулярная динамика

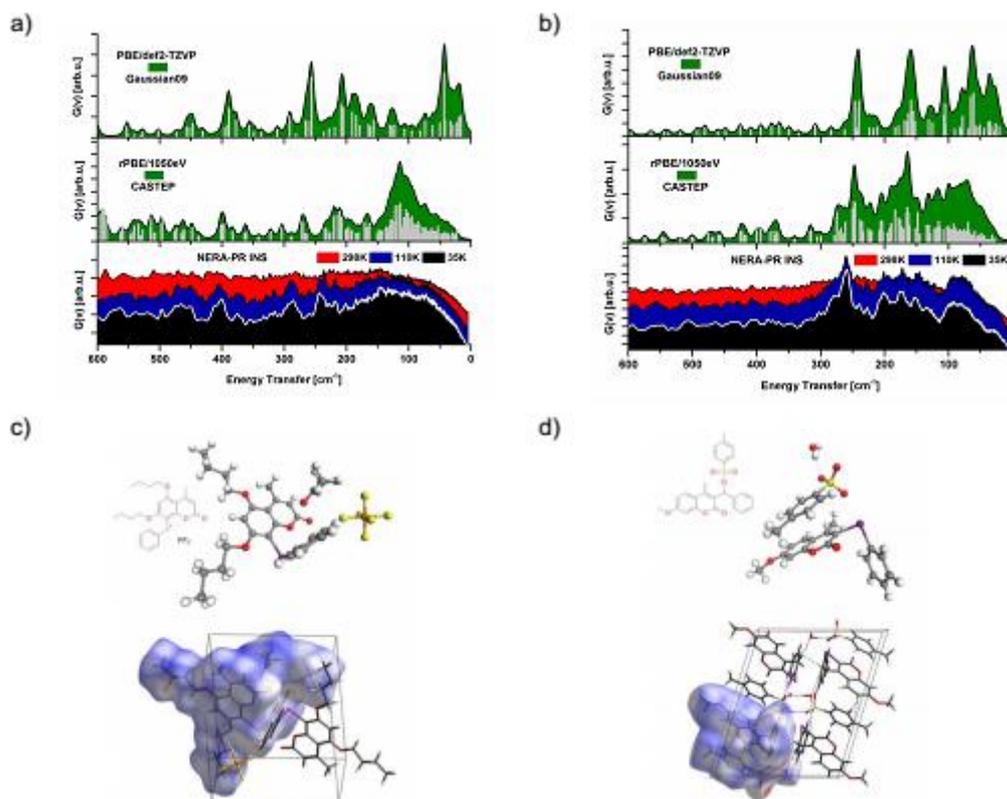
Проведено экспериментальное и теоретическое исследование молекулярной динамики и структурного строения производных соединений алкилкумарина – гексафлюорофосфата (ESP-PF6) и тосилата (ESP-TOS) (рис. 12). Экспериментальные исследования проводились с помощью спектроскопии инфракрасного поглощения, рамановского рассеяния, неупругого рассеяния нейтронов и терагерцового излучения.

Для теоретического моделирования молекулярной динамики использовалось приближение функционала плотности и использовались программные пакеты CASTEP и GAUSSIAN09. Получено хорошее согласие экспериментальных данных с результатами теоретического моделирования.

Проведено исследование атомной динамики жидкого галлия при высоких температурах методом неупругого рассеяния нейтронов. Из экспериментальных дважды-дифференциальных сечений рассеяния жидкого галлия, полученных при температурах 313, 433, 553 и 673 К, выделена квазиупругая часть, включая как когерентную, так и некогерентную компоненты. В случае когерентного рассеяния был выполнен анализ спектров в области передач волнового вектора  $Q$ , прилежащей к главному максимуму структурного фактора ( $Q \sim Q_0$ ). При этом использовалась модифицированная модель жидкости твердых сфер и получена температурная зависимость коэффициента самодиффузии жидкого галлия в области 313 – 673 К. В случае некогерентного рассеяния квазиупругие данные анализировались в более широком интервале передач волнового вектора  $Q$  и полученные результаты удалось описать моделью простой диффузии.

Результаты двух методов анализа, как по величине коэффициента диффузии, так и его температурной зависимости хорошо согласуются между собой и примерно описываются аррениусовским законом с постоянной энергией активации  $\sim 6$  Кдж/моль

## 1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ



**Рис. 12.** Спектры неупругого рассеяния нейтронов, результаты их теоретического моделирования в рамках различных приближений и кристаллическая структура ESP-PF6 (a) и ESP-TOS (b).

Из анализа формы пиков когерентного и некогерентного квазиупругого рассеяния также установлено, что распад флуктуаций плотности ближайшего окружения протекает в жидком галлии по простому экспоненциальному закону.

### 1.1.1.8. Прикладные работы

К прикладным работам в отделе НЭО НИКС ЛНФ традиционно относятся экспериментальные исследования текстуры горных пород и минералов, внутренних напряжений в них и определение внутренних напряжений в объемных материалах и изделиях, включая инженерные материалы и детали машин и устройств. В основном, эти исследования ведутся с помощью дифракции нейтронов.

Одной из важных проблем современной ядерной энергетики является контроль состояния металла реакторного корпуса в течение всего срока его службы и гарантия целостности корпуса реактора при нормальных условиях эксплуатации, а также при любых проектных авариях. При эксплуатации ядерных установок важным источником информации об изменении свойств корпусных сталей, которые ухудшаются под воздействием нейтронного облучения, служит программа образцов-свидетелей, которые располагаются у внутренней стенки шахты реактора. Для увеличения количества облучаемых образцов корпусной стали реактора при подтверждении его проектного срока эксплуатации или при его продлении используется технология реконструкции образцов-свидетелей после их механических испытаний с помощью различных видов сварки (электродуговой, электронно-лучевой, лазерной и т.д.). При этом необходимо контролировать уровень остаточных напряжений после сварки в реконструированных образцах-свидетелях.

## 1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

На дифрактометре ФСД проведены эксперименты по изучению распределения остаточных напряжений в образцах-свидетелях, возникающих после электронно-лучевой (electron beam welding - EBW) и лазерной (laser beam welding - LBW) сварки. Результаты экспериментов (рис. 13) показали, что уровень остаточных напряжений для образца LBW значительно выше, чем для образца EBW, и достигает величины 550 МПа в районе сварного шва. Это подтверждает хорошо известный факт, что среди всех методов сварка электронным лучом дает наименьший уровень остаточных напряжений в сварных швах. По всей видимости, это обусловлено малым количеством вводимой теплоты при данном сварочном процессе (в 4-5 раз меньше, чем, например, при дуговой), в результате чего резко снижается деформация конечного изделия. Кроме того, по уширению дифракционных пиков был оценен уровень остаточных микродеформаций, который непосредственно характеризует плотность дислокаций в исследуемом материале. В образце EBW микродеформация достигает  $3.5 \cdot 10^{-3}$ , а для образца LBW несколько выше -  $4.5 \cdot 10^{-3}$ . Данный эффект сопровождается значительным (~2.5 раза) увеличением микротвердости в зоне сварных швов. По всей видимости, наблюдаемое увеличение микротвердости является результатом формирования мартенситной (или мартенситно-бейнитной) структуры в области сварного шва и ЗТВ.

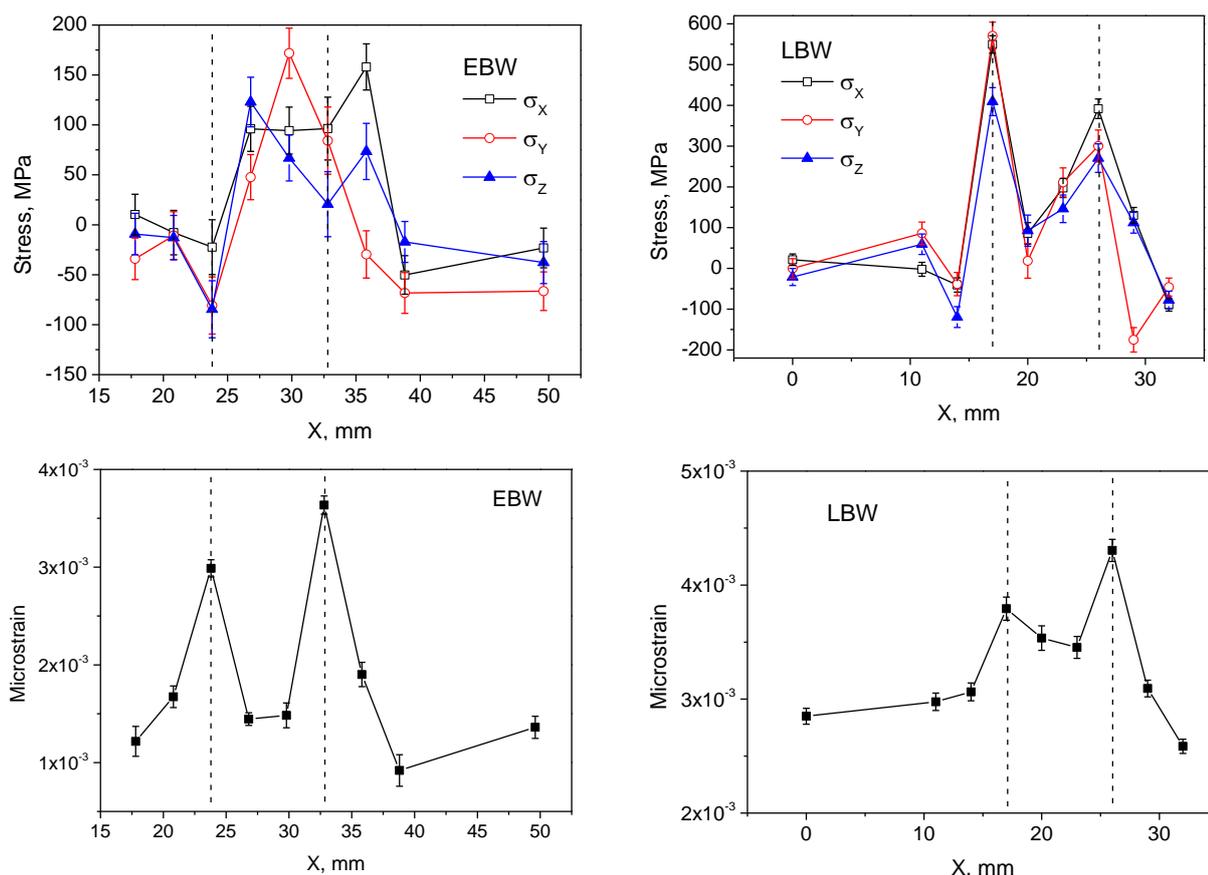


Рис. 13. Распределение остаточных напряжений (вверху) и микродеформаций (внизу) в образцах, восстановленных методом электронно-лучевой (EBW) и лазерной (LBW) сварки.

## 1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

На дифрактометре Эпсилон проведено исследование остаточных напряжений образцов горных пород на основе кальцита, обусловленных присутствием в них магнитного пиротита. Определено распределение внутренних напряжений в фазе кальцита в зависимости от угла вращения образца в плоскости XY вокруг оси Z.

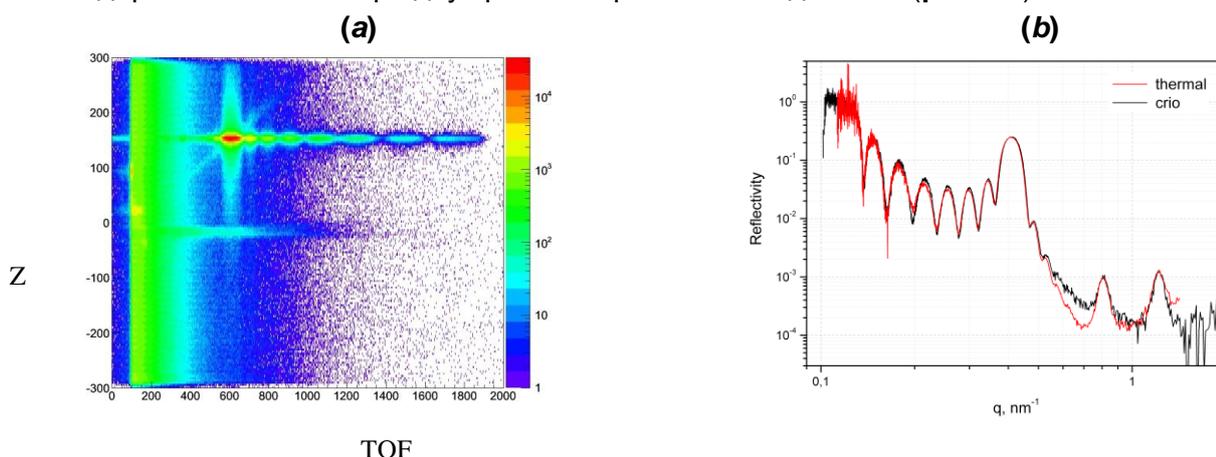
Проведено исследование текстуры ряда образцов из феррито-перлитной стали, цель которого заключается в изучении влияния обработки, химического состава, текстуры на прочностные свойства колес железнодорожных вагонов, изготовленных из этой стали. На основе измерения полюсных фигур (200), (110), (211) для  $\alpha$ -Fe, проведенных на дифрактометре СКАТ, сделан вывод о том, что термообработка разрушает текстуру. Введение примесей в сплав приводит к переориентации слабой преимущественной ориентировки.

Проведены эксперименты по исследованию термических внутренних напряжений, возникающих при сезонных колебаниях температуры в мраморных плитах [15].

### 1.1.2. Методические результаты

Проведены работы по созданию и тестированию устройств окружения образца нового дифрактометра ДН-6. Завершены работы по созданию криостата для экспериментов с камерами высокого давления и проведено его тестирование. Приобретены камеры высокого давления с алмазными наковальнями с рабочим диапазоном до 15 ГПа (площадка 0.8 мм) и 50 ГПа (площадка 0.5 мм), первые эксперименты показали возможность их успешного применения для экспериментов на ДН-6. Разработана усовершенствованная детекторная система для регистрации спектров при угле рассеяния  $90^\circ$  на основе 96 отдельных газовых счетчиков, последующее создание которой позволит повысить светосилу установки в 3-4 раза.

Проведен запуск первой стадии рефлектометра ГРЭИНС. Измерены и оптимизированы профили пучка при различных конфигурациях элементов рефлектометра. Проведена экспериментальная оценка интегрального потока тепловых неполяризованных нейтронов (длина волны свыше 0.05 нм) после отклоняющего зеркала при тепловом ( $2 \times 10^6 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ ) и холодном ( $1 \times 10^6 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ ) режимах работы замедлителя. Проведена оптимизация времяпролетных спектров по фону быстрых нейтронов. Получены первые кривые отражения на стандартных системах при двух режимах работы замедлителя (рис. 14).



**Рис.14.** (а) 2D спектр отраженного пучка неполяризованных нейтронов на слоистой структуре  $[\text{Ni}(8.4\text{nm})\text{Ti}(7\text{nm})] \times 8/\text{Floatglass}$  (производитель MIRROTRON, Венгрия), полученный на рефлектометре GRAINS при криогенном режиме работы замедлителя в координатах Z (ширина канала 0.35 мм) – время пролета (ширина канала 32 мкс). (б) Коэффициент зеркального отражения как функция переданного импульса для той же системы, измеренный в тепловом (thermal) и криогенном (crio) режимах работы замедлителя.

## 1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

В рамках наладки рефлектометра проведен первый эксперимент по изучению влияния оксидации на структуру тонкой титановой пленки на стеклянной подложке, выполнившийся в рамках разработки новых покрытий для нейтроннооптических устройств.

Продолжались работы по реализации проекта по созданию нового дифрактометра на ба канале для нейтронографических исследований переходных процессов в реальном времени. Подготовлены рабочие чертежи на изготовление фоновой защиты детекторной системы. Изготовлена и установлена диафрагма нейтронного пучка с регулируемым окном, с линейным перемещением по горизонтальной и вертикальной оси и креплением на выходном фланце нейтронновода RTD.

Продолжены работы по созданию макетного варианта спектрометра радиографии на канале 14 (рис. 15).

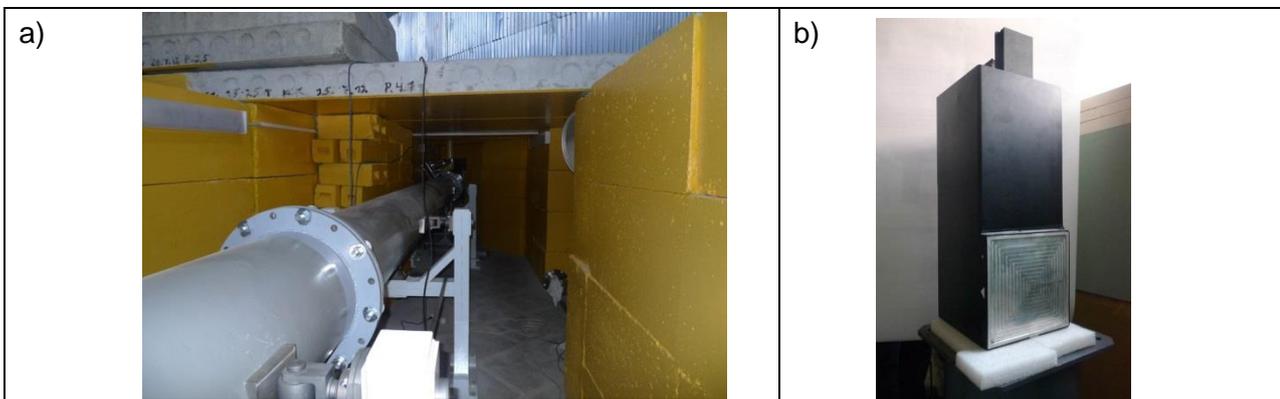


Рис. 15. Вакуумная коллимационная система (а) и система регистрации изображений на основе CCD камеры (b).

Изготовлена и установлена на пучке вакуумная коллимационная система. Изготовлена и протестирована на 12 канале система регистрации изображений на основе CCD камеры. Продолжены работы по созданию биологической защиты канала. Проведено тестовое открывание шибера, во время которого произведена оценка нейтронного потока в положении образца, которая составила  $5 \cdot 10^6$  н/см<sup>2</sup>/с.

На дифрактометре ДН-12 совместно с НЭО КС проведена замена детекторных счетчиков, электроники и системы накопления данных. Использование новых детекторов позволило повысить светосилу установки на 30 %.

После долгого перерыва в отделе НЭОКС продолжено создание модулей детектора АСТРА для ФСД на основе сцинтиллятора ZnS. Совместно с сотрудниками НЭОКС новый сцинтилляционный модуль детектора АСТРА установлен и проверен в работе в режиме низкого разрешения на ФСД. В ближайшее время данный модуль будет тестироваться в режиме высокого разрешения. На дифрактометре ФСД продолжены испытания «List Mode»-анализатора для накопления «сырых» данных в списочном режиме. В настоящее время продолжаются работы по разработке и совершенствованию сложных алгоритмов для восстановления спектров высокого разрешения.

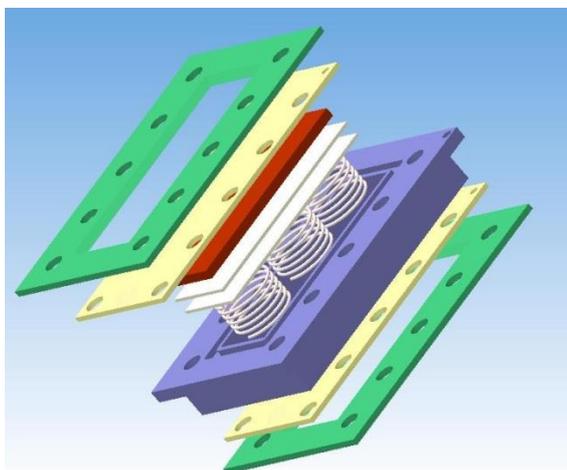
На спектрометре ЮМО совместно с НЭО КС проведена замена электроники сбора данных с 3 детекторов (2 – кольцевые пропорциональные гелий-3 детекторы и детектор прямого пучка), проведена проверка состояния газовой смеси детекторов, заменены предусилители на кольцевых детекторах, установлена новая накопительная электроника,

## 1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

проложены новые кабели от управляющей электроники к детекторам, включая вакуумные разъемы (более километра кабеля). Создан электронный журнал и база данных по экспериментам. Проведена работа по обновлению программного обеспечения, включающего развитие программ SONIX и SAS.

На дифрактометрах СКАТ и Эпсилон определены технические параметры после модернизации. Величины нейтронного потока в положении образца, определенные с использованием урановых камер деления, составили  $1.7 \cdot 10^6$  н/см<sup>2</sup>/с для Эпсилон и  $6.8 \cdot 10^5$  н/см<sup>2</sup>/с для СКАТ. Измерены профили нейтронных пучков, уточнена функция разрешения СКАТ.

Для исследований Li-ion аккумуляторов в дифракционном эксперименте в режиме реального времени разработаны специальные модельные электрохимические ячейки и температурная приставка (рис. 16), которые позволят создать на объемном образце температуры от -100 до 100 °С (экстремальные температуры эксплуатации аккумуляторов).

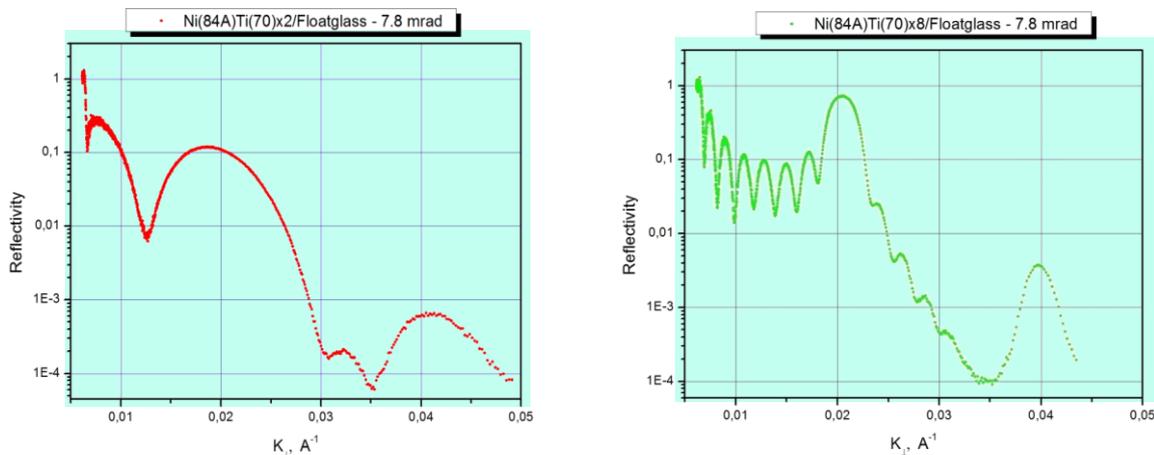


**Рис. 16.** Слева: 3D модель новой электрохимической ячейки для тестирования электродных материалов. Зеленым цветом обозначена рама из нержавеющей сплава, желтым – экраны-токосборники из ванадия, красным цветом – электродные материалы (катод и анод) вместе с сепаратором и электролитом, серым – второй токосборник из ванадия, нитрид бора и пружины, синий – фторопластовый каркас. Справа: Устройство для создания особых температурных условий на аккумуляторах в сборе.

На рефлектометре РЕМУР испытана мода малоуглового рассеяния в скользящей геометрии в режиме плановых измерений с ферромагнитно-сверхпроводящим образцом. Проведена замена двигателей в приводах спектрометра. В основном запущено новое программное обеспечение для работы с двумерным позиционно-чувствительным детектором, которое обеспечивает накопление информации в четырёх поляризационных режимах работы. Продолжаются работы по созданию анализатора поляризации с сечением 16см×18см.

На рефлектометре РЕФЛЕКС продолжены исследования отражательных свойств тонкопленочных многослойных структур, изготовленных по специальному алгоритму, предложенному В.К. Игнатовичем (рис. 17) [14].

# 1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ



**Рис. 17.** Коэффициенты отражения от периодических структур, образованных бислоями Ni-Ti. Рисунок снизу поясняет принцип формирования высокого коэффициента отражения в широком интервале переданных импульсов: группы бислоев с разными периодами формируют брэгговские пики в обратном пространстве; периоды бислоев подбираются таким образом, чтобы пики перекрывались друг с другом, формируя, таким образом, протяженную область с высоким коэффициентом отражения.

Его идея заключается в использовании свойств определенных периодических тонкопленочных структур для создания нейтронных зеркал с высоким коэффициентом отражения в определенной области переданного импульса. Каждый период структуры состоит из бислоя, который образуют слой с положительной плотностью длины рассеяния и последующий слой с отрицательной плотностью длины рассеяния. Коэффициент отражения от подобной периодической структуры имеет особенность в виде брэгговского пика, высота и ширина которого будут определяться конкретными значениями плотностей длины рассеяния, толщин слоев и количества периодов. Такой подход является альтернативой к широко используемой методике создания подобных зеркал с аperiodической структурой методом магнетронного напыления. В технологии создания аperiodических нейтронных зеркал нет четких научных основ изготовления, методика обрабатывается методом проб и ошибок. Это делает существующий способ производства в определенной степени ненадежным, с большим выходом брака и длительными отладками оборудования. Наличие технологии, опирающейся на четкий математический алгоритм построения структуры нейтронного зеркала, может упростить процесс их создания и повысить их качество. Заказчиками нейтронных зеркал с высоким критическим углом полного отражения являются нейтронные центры, использующие для формирования пучков нейтронов нейтроноводы, основным элементом которых и являются рассматриваемые нейтронные зеркала. Образцы для исследований были изготовлены фирмой Mirrotron Ltd, Budapest.

Разработана методика расчета поведения вектора поляризации пучка нейтронов при прохождении произвольной пространственной конфигурации магнитных полей. Данный метод позволяет с большой точностью оценить потери величины вектора поляризации при прохождении любого элемента конструкции спектрометра, создающего магнитные поля и на основе этого проводить оптимизацию установки. С помощью программного пакета MagNet были рассчитаны трехмерные распределения магнитных полей от отдельных элементов, используемых на спектрометре с поляризованными нейтронами РЕФЛЕКС на 9-м канале реактора ИБР-2. Далее, полученные распределения полей использовались программным пакетом VITESS для моделирования прохождения вектора поляризации.

## 1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведено исследование волноводной слоистой структуры  $\text{CuNi}(15 \text{ nm})/\text{TbCo}_5(150 \text{ nm})/\text{CuNi}(50 \text{ nm})//\text{Si}(\text{substrate})$ . Здесь  $\text{Cu}(33 \text{ at.}\%)\text{Ni}(67 \text{ at.}\%)$  является немагнитным, а  $\text{TbCo}_5$  слабомагнитным (намагниченность насыщения 500 Гс) слоем при комнатной температуре. Установлено, что по измерению интенсивности поляризованного микропучка нейтронов, выходящего из торца волноводного слоя такой структуры, можно регистрировать изменения намагниченности порядка 10 Гс. Таким образом, поляризованный микропучок нейтронов можно использовать как более чувствительный метод исследования слабомагнитных слоёв, чем обычная нейтронная рефлектометрия, для которой порог чувствительности имеет порядок 1000 Гс

### Литература

1. D.P.Kozlenko, S.E.Kichanov, E.V.Lukin, N.T.Dang, L.S.Dubrovinsky, E.A.Bykova, K.V.Kamenev, H.-P.Liermann, W.Morgenroth, A.Ya.Shapiro, and B. N. Savenko "Effect of high pressure on the crystal structure, magnetic, and vibrational properties of multiferroic  $\text{RbFe}(\text{MoO}_4)_2$ ", *Phys. Rev. B*, v. 87, pp. 014112-1-6 (2013).
2. А.М. Балагуров, И.А. Бобриков, М.С. Мащенко, Д. Сангаа, В.Г. Симкин "Структурный фазовый переход в шпинели  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$ ", *Кристаллография*, т. 58 (5), с. 696-703 (2013).
3. И.А. Бобриков, А.М. Балагуров "Исследование Li-ионных аккумуляторов в реальном времени с помощью нейтронной дифракции", *Новости ОИЯИ*, № 3, с. 19 (2013).
4. E.Burzo, P.Vlaic, D.P.Kozlenko, S.E.Kichanov, N.T.Dang, E.V.Lukin, B.N.Savenko "Magnetic properties of  $\text{TbCo}_2$  compound at high pressures", *Journal of Alloys and Compounds*, v. 551, pp. 702-710 (2013).
5. M.V.Avdeev "Particle interaction in polydisperse magnetic fluids: Experimental aspects of small-angle neutron scattering applications", *Journal of Molecular Liquids* (2013), in press.
6. R.A.Eremin, Kh.Kholmurodov, V.I.Petrenko, L.Rosta, M.V.Avdeev. Effect of the solute--solvent interface on small-angle neutron scattering from organic solutions of short alkyl chain molecules as revealed by molecular dynamics simulation. *J. Appl. Cryst.* v. 46, p. 372-378 (2013).
7. И.В.Гапон, В.И.Петренко, М.В.Авдеев, Л.А.Булавин, Ю.Н.Хайдуков, О.Солтведель, В.Зависова, П.Копчански, Учет диффузного рассеяния при анализе зеркального отражения нейтронов на границе раздела магнитная жидкость-кремний, *Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования* (2013), принята в печать.
8. V.I.Petrenko, L.A.Bulavin, M.V.Avdeev, V.M.Garamus, M.Koneracka, P.Kopcansky. Structure and interaction of poly(ethylene glycol) in aqueous solutions. Small-angle neutron scattering data. *Macromol. Symposia* (2013), accepted.
9. M.V.Avdeev, Aksenov V.L., Tomchuk O.V., Bulavin L.A., Garamus V.M., Osawa E., The spatial diamond-graphite transition in detonation nanodiamond as revealed by small-angle neutron scattering, *Journal of Physics: Condensed Matter* 25 (2013) P. 445001 (7pp).
10. Е.А.Кизима, Томчук А.А., Булавин Л.А., Петренко В.И., Алмаши Л., Коробов М.В., Волков Д.С., Кошлань И.В., Кошлань Н.А., Блаха П., Авдеев М.В., Структура и токсичность водных растворов фуллерена  $\text{C}_{60}$ , *Поверхность. Рентген. Синхротрон. Нейтрон. Исслед.* 2013, принята в печать.
11. M.A. Kiselev, M. Janich, A. Hildebrand, P. Strunz, R.H.H. Neubert, D. Lombardo "Structural transition in aqueous lipid/bile salt [DPPC/NaDC] supramolecular aggregates: SANS and DLS study", *Chem. Phys.* v. 424, p. 93-99 (2013).
12. G. E. Iacobescu, M. Balasoiu, I. Bica "Investigation of magnetorheological elastomer surface properties by atomic force microscopy", *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*, v. 26, p. 785-792 (2013).

## 1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

---

13. J.W.P. Schmelzer, T.V. Tropin "Dependence of the width of the glass transition interval on cooling and heating rates", J. Chem. Phys., v. 138, p. 034507 (11pp) (2013).
14. T. Veres, L. Cser, V. Bodnarchuck, V. Ignatovich, Z.E. Horváth, B. Nagy "Investigation of periodic Ni-Ti multilayers", Thin Solid Films, v. 540, p. 69-72 (2013).
15. V.V. Luzin, Nikolayev D.I., Siegizmund S. Temperature Induced Internal Stress in Marble, Proc. of the 7<sup>th</sup> international conference on mechanical stress evaluation by neutron and synchrotron radiation, 10-12 September 2013, Sydney, Australia (in press).

# 1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

## 1.2. НЕЙТРОННАЯ ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

В 2013 г. в ЛНФ работы велись в традиционных направлениях: изучение процессов нарушения пространственной и временной четности при взаимодействии нейтронов с ядрами; изучение процесса деления; экспериментальное и теоретическое исследование фундаментальных свойств нейтрона; гамма-спектроскопия нейтронно-ядерных взаимодействий; структура атомного ядра; получение новых данных для реакторных приложений и для ядерной астрофизики; эксперименты с ультрахолодными нейтронами. Значительная часть исследований выполнена на модернизированной исследовательской ядерной установке ИБР-2, импульсном источнике резонансных нейтронов ИРЕН и установке ЭГ-5. Особо следует отметить широкий круг прикладных работ, связанный с применением НАА. Ряд работ в области фундаментальной физики и физики ультрахолодных нейтронов проводились на установках ядерных центров Китая, США, Франции.

### 1.2.1 Экспериментальные и методические исследования.

#### 1.2.1.1. Создание и усовершенствование многодетекторных систем для измерения нейтронных сечений с помощью импульсного источника резонансных нейтронов ИРЕН ЛНФ.

Создана и протестирована мобильная, реконфигурируемая гамма-спектрометрическая система nGamma для исследования ядерных реакций под действием нейтронов разных энергий, связанных с испусканием гамма-лучей. В первоначальной (минимальной, тестовой) конфигурации она состоит из 24 NaI(Tl)-детекторов гамма-лучей смонтированных на двух кольцах (рис. 1). Экспериментально определены энергетические и временные характеристики отдельных трактов системы. С помощью системы измерена энергетическая зависимость плотности потока нейтронов на расстояние 60 м от нейтрон-производящей мишени импульсного нейтронного источника ИРЕН.



**Рис. 18** Многодетекторная, передвижная, реконфигурируемая

Собрана и протестирована 12-детекторная (2 модуля по 6 кристаллов NaI(Tl)) гамма-спектрометрическая система «Ромашка» для проведения исследований резонансного радиационного захвата (и деления) атомных ядер нейтронами на 4-ом канале установки ИРЕН (Рис. 19). Измерены энергетические характеристики отдельных трактов системы с помощью компьютеризованной системы сбора и анализа установки nGamma. Собран и установлен коллиматор гамма-нейтронного пучка.



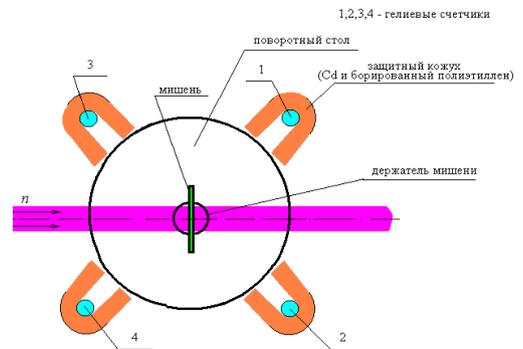
**Рис. 19.** 12-детекторная NaI(Tl) гамма-спектрометрическая система «Ромашка» (ИЯИЯЕ-БАН) на 4-ом канале импульсного нейтронного источника ИРЕН.

## 1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 1.2.1.2. Работы в рамках подготовки эксперимента по измерению (n,e) рассеяния.

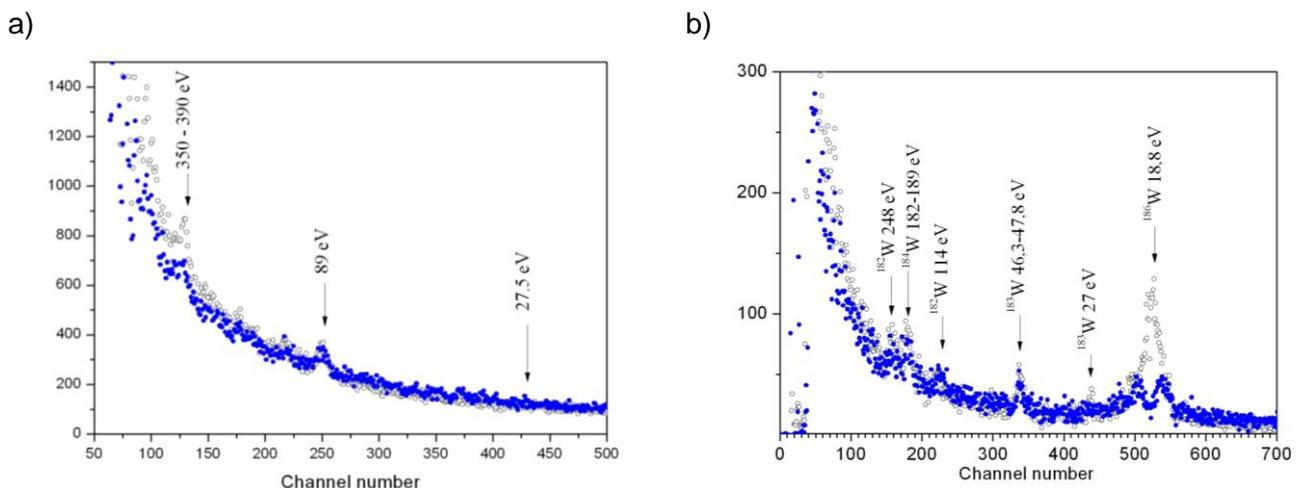
Продолжается отладка экспериментальной установки АУРА (Анизотропия Угловых РАСпределений), предназначенной для измерений энергетической зависимости угловой анизотропии упруго рассеянных медленных нейтронов на благородных газах с целью извлечения длины n,e-рассеяния. В данное время установка АУРА расположена на 15-метровой пролетной базе канала №2 установки ИРЕН. Схема установки АУРА приведена на **рис. 20**.

На вращающейся платформе закреплены четыре  $^3\text{He}$ -счетчика в защитах и держатель образцов (для газообразных мишеней имеется цилиндрическая алюминиевая камера). Платформа вращается на  $\pm 180^\circ$  шаговым двигателем, управляемым персональным компьютером. 8-канальный временной кодировщик связан с компьютером через порт USB-2 и регистрирует сигналы с детекторов и двух монитрных  $^3\text{He}$ -счетчиков. Смена позиций детекторов при заданных параметрах, экспозиций в каждой позиции и накопление измеряемой информации в 8 спектрах (для каждого счетчика в 2-х позициях) осуществляется программой управления экспериментом.



**Рис. 20.** Схема детектирующего модуля установки АУРА для исследования твердых образцов.

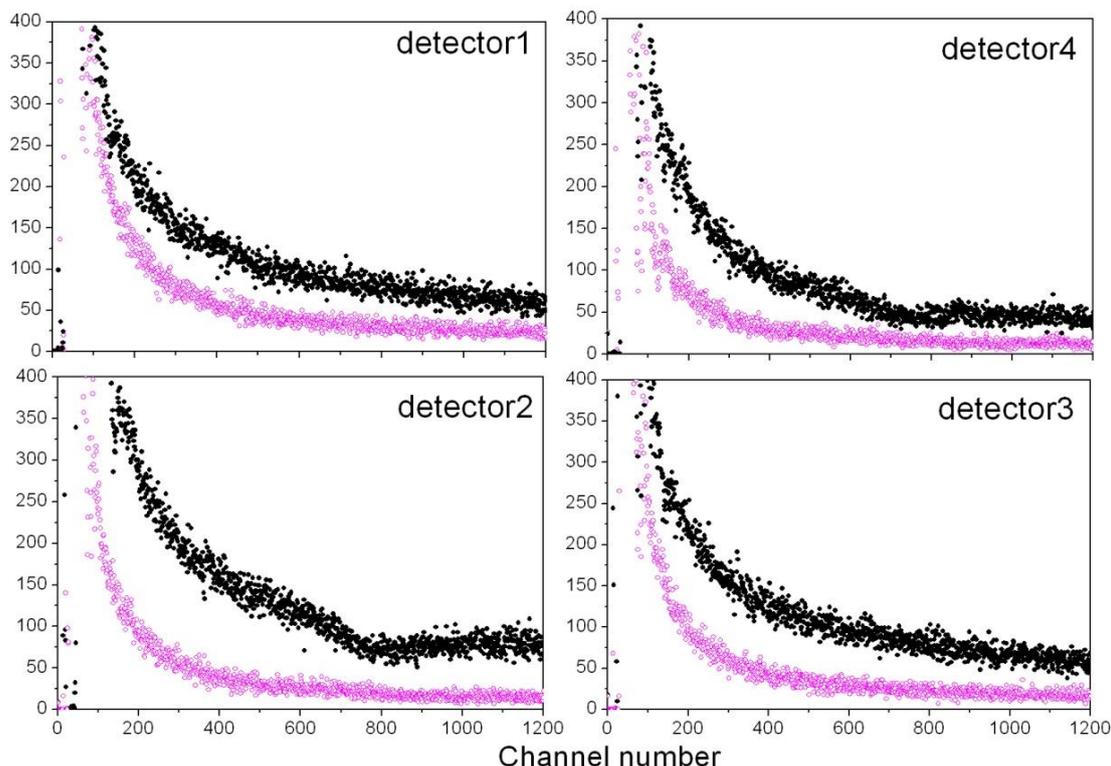
При интенсивности ИРЕН  $\sim 2 \cdot 10^{11}$  н/с проведены тестовые эксперименты на твердых образцах. На **рис. 21а)** и **21б)** приведены времяпролетные спектры, полученные при рассеянии нейтронов кадмиевой мишенью толщиной 0,5 мм и мишенью из вольфрама толщиной 0,3 см, а на **рис. 22** – времяпролетные спектры нейтронов, полученные с мишенью из плексигласа. На **рис. 22** очевидно преимущественное рассеяние нейтронов вперед, как это и должно быть на водородосодержащей мишени



**Fig. 21.** а) Времяпролетный спектр нейтронов, рассеянных кадмием, полученный одним из детекторов. Открытые кружки – рассеяние назад, точки – рассеяние вперед. Ширина временного канала 0,5 мкс. б) Времяпролетный спектр нейтронов, рассеянных вольфрамом. Открытые кружки – рассеяние назад, точки – рассеяние вперед. Ширина временного канала 0,5 мкс.

## 1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Входные отверстия 2-го и 4-го детекторов были перекрыты серебряными пластинами, и на соответствующих спектрах рассеянных вперед нейтронов наблюдался провал при энергии  $\sim 10$  эВ. Провал связан с тем, что нейтроны с такой энергией после рассеяния на водороде на  $45^\circ$  приобретают энергию, соответствующую «серебряному резонансу» 5.15 эВ.

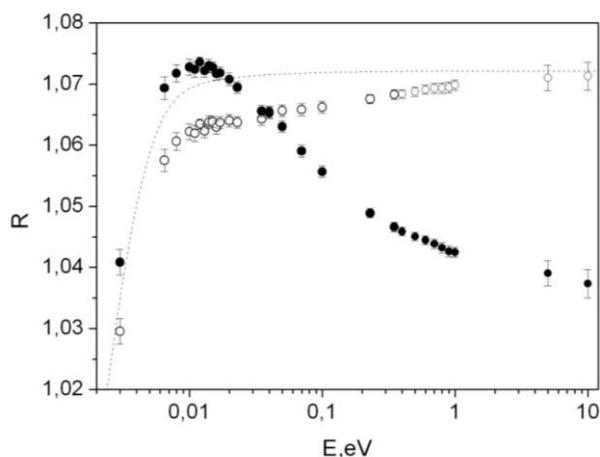


**Рис. 22.** Времяпролетные спектры нейтронов, рассеянных плексигласом. Открытые кружки – рассеяние назад, точки – рассеяние вперед. Ширина временного канала 0,5 мкс.

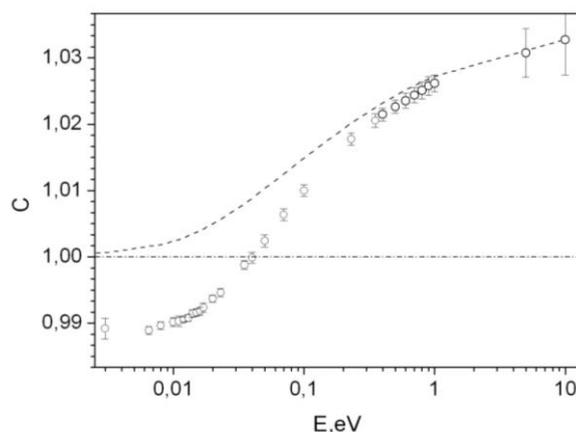
Продолжаются расчеты с целью уточнения поправок для эксперимента по извлечению точного значения длины  $p, e$ -рассеяния из угловой анизотропии медленных нейтронов, рассеиваемых аргонном при нормальном давлении. Для получения длины  $b_{ne}$  с точностью 2 – 3 % нужна точность определения всех поправок не хуже  $10^{-4}$ .

Кинематическая поправка – отношение эффективностей детекторов, регистрирующих рассеянные нейтроны под углами вперед и назад с учетом теплового движения атомов газа уточняется в расчетах методом Монте-Карло в реальной геометрии. Расчеты проводятся на кластере ЛИТ. Для измерений с аргонном необходимая для эксперимента по времени пролета точность этой поправки уже получена. Рассчитаны поправки для 20 энергетических точек в диапазоне энергий нейтронов от 0,0065 до 0,8 эВ. Расчетная зависимость анизотропии рассеяния нейтронов от их начальной энергии с учетом теплового движения атомов аргона при длине  $p, e$ - взаимодействия  $b_{ne} = -1,32 \cdot 10^{-3}$  Фм и анизотропия без учета  $p, e$ -рассеяния показаны на **рис. 23**. Полученная из вычислений методом Монте-Карло поправка  $C(E) = \varepsilon(135^\circ) / \varepsilon(45^\circ)$  на различие интенсивностей регистрации детекторами рассеяния нейтронов аргонном вперед и назад с учетом теплового движения его атомов представлена на **рис. 24** вместе с расчетом этой поправки  $C(E)$  без учета теплового движения атомов газа (пунктирная линия). Продолжаются аналогичные расчеты этой поправки для криптона в качестве рассеивателя.

## 1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ



**Рис. 23.** Зависимость анизотропии рассеяния нейтронов от начальной энергии нейтронов с учетом теплового движения атомов Ar (при  $b_{ne} = -1,32 \cdot 10^{-3}$  Фм): открытые точки – расчеты с поправкой на эффективность, черные точки – без поправок. Пунктирная кривая – анизотропия без учета п,е-рассеяния.



**Рис. 24.** Поправка  $C(E) = \varepsilon(135^\circ) / \varepsilon(45^\circ)$ , полученная из вычислений методом Монте-Карло для интенсивностей рассеяния вперед и назад аргоном. Пунктирная кривая – расчет  $C(E)$  без учета теплового движения атомов газа.

Оценки рассеяния нейтронов кадмием, покрывающим стенки коллиматоров показали, что при энергии нейтронов 0,5 эВ через кадмий толщиной 0,2 см проходит  $0,6 \cdot 10^{-4}$  падающих под различными углами нейтронов, а отражается  $10^{-4}$  нейтронов. Такая погрешность приемлема в нашем эксперименте.

После завершения испытаний на пучке ИРЕН установку АУРА предполагается разместить на канале №1 реактора ИБР-2 для проведения измерений с благородными газами. Для окончательной проверки установки АУРА планируется провести измерения с образцом ванадия с целью получения анизотропии рассеяния в области тепловых энергий нейтронов. В этой области энергий у ванадия в проведенном ранее эксперименте на ИБР-2 наблюдалась

## 1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

анизотропия при рассеянии нейтронов вперед и назад, отличная от кинематической. Интересно подтвердить этот результат измерениями с установкой АУРА на ИРЕН.

Оценены поправки на многократное рассеяние нейтронов ванадием разных толщин. Расчеты производились для энергий нейтронов 0,025 эВ и 0,1 эВ для трех углов рассеяния вперед  $30^{\circ} \pm 2,5^{\circ}$ ,  $45^{\circ} \pm 2,5^{\circ}$  и  $60^{\circ} \pm 2,5^{\circ}$  и соответствующих углов рассеяния назад  $150^{\circ} \pm 2,5^{\circ}$ ,  $135^{\circ} \pm 2,5^{\circ}$  и  $120^{\circ} \pm 2,5^{\circ}$ . Из расчетов видно, что допущенное ранее пренебрежение многократным рассеянием для такой толщины ванадия было оправданным.

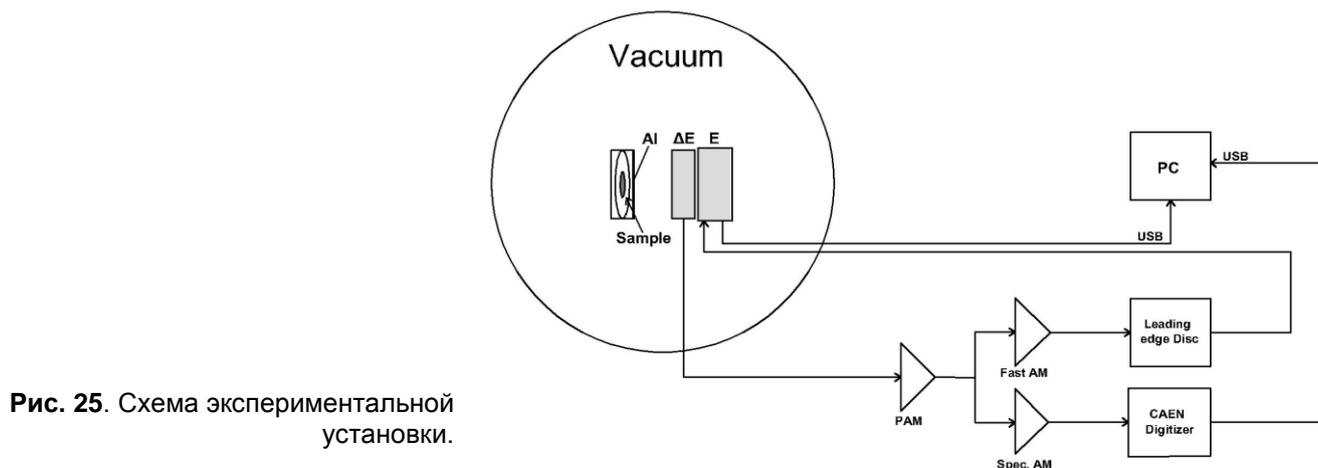
### 1.2.1.3. Развитие методов исследования физики деления.

Продолжаются работы, проводимые совместно с Техническим университетом (г. Прага, Чехия), по применению пиксельных кремниевых детекторов для регистрации заряженных частиц, испускаемых в процессе деления. В более ранних работах была продемонстрирована возможность измерения энергий осколков деления с помощью пиксельных детекторов Medipix2, а также направления вылета осколков благодаря высокому позиционному разрешению этих детекторов. Детектор Medipix2 представляет собой двухслойный кремниевый детектор размером  $1.4 \times 1.4 \text{ см}^2$ . Верхний, сенсорный слой представляет собой обычный полупроводниковый детектор (как правило, используется кремниевый слой толщиной 300 мкм). Нижний слой, называемый считывающим слоем, состоит из  $256 \times 256$  пикселей (размер одного пикселя составляет  $55 \times 55$  микрон). Каждый пиксель представляет собой интегральную микросхему, позволяющую определять наличие сигнала в пикселе и отсчитывать число срабатываний при заданных дифференциальных (верхнем и нижнем) порогах. Принцип регистрации заряженных частиц в детекторах семейства Medipix основан на эффекте распределения заряда (charge sharing effect). Суть эффекта состоит в том, что при попадании частицы в сенсорный слой детектора заряд «расплывается» по мере его собирания, формируя довольно обширную область собирания заряда, затрагивающую несколько пикселей. Пиксели, сработавшие в считывающем слое детектора, образуют кластер. Размер кластера зависит от типа и энергии частицы, попавшей в сенсорный слой детектора.

Новое поколение пиксельных детекторов – Timepix позволяет также определять время прихода импульса в каждом пикселе. Кроме того, возможна работа детектора в режиме определения времени нахождения сигнала над порогом (Time-over-threshold – TOT mode), при котором возможно определение величины заряда, собранной каждым пикселем. В 2013 году в ЛНФ совместно с ТУ Прага проводились измерения тройного спонтанного деления  $^{252}\text{Cf}$  с использованием детекторов Timepix. Для идентификации тройных частиц использовался  $\Delta E$ -E метод, позволяющий разделять легкие заряженные частицы по заряду. В качестве  $\Delta E$ -детектора использовался тонкий кремниевый детектор (12 мкм), в качестве E-детектора – пиксельный детектор TimePix с толщиной сенсорного слоя 300 мкм.

Схема экспериментальной установки показана на **рис. 25**. В вакуумной камере располагается спонтанный источник деления  $^{252}\text{Cf}$  и сборка  $\Delta E$ -E детекторов. Между источником и детекторами установлена алюминиевая фольга толщиной 31 мкм, которая обеспечивает полное поглощение осколков деления и альфа-частиц из спонтанного альфа-распада калифорния (6.2 МэВ). Таким образом, детекторы регистрируют только длиннопробежные легкие заряженные частицы из тройного деления. Сигнал из  $\Delta E$  детектора подается на зарядово-чувствительный предусилитель, далее усиленный сигнал разветвляется и подается на быстрый и спектроскопический тракты. Быстрый тракт состоит из формирующего усилителя и дискриминатора с фиксированным порогом, сформированный логический сигнал (+3.3 В CMOS-TTL) подается на внешний вход детектора Timepix, определяющий триггер для срабатывания детектора Timepix.

## 1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ



Вторая часть сигнала подается на спектрометрический усилитель, который формирует сигнал для считывания в оцифровщике CAEN DT5720. Оцифрованные сигналы записываются в память компьютера через стандартный USB порт. Сигналы с детектора Timerix, работающего в режиме TOT, считываются через USB интерфейс FitPIX и также записываются в память компьютера с помощью программы Pixelman. Синхронизация двух независимых потоков данных (с  $\Delta E$  и  $E$  детекторов) производится в режиме off-line путем сравнения временных отметок с оцифровщика и интерфейса FitPIX.

На рис. 26 представлен двухмерный  $\Delta E$ - $E$  спектр, на котором хорошо видно разделение легких заряженных частиц по заряду. Из-за высокого порога в  $\Delta E$  детекторе не удастся наблюдать изотопы водорода. Более тяжелые частицы имеют гораздо меньший выход и не наблюдаются при использовании довольно слабого источника. Конечной целью эксперимента является поиск и изучение четверного деления с одновременным испусканием двух легких заряженных частиц.

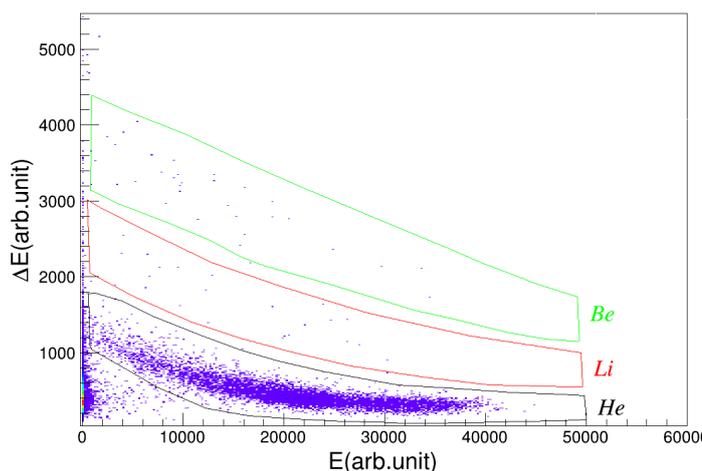


Рис. 26.  $\Delta E$ - $E$  распределение легких заряженных частиц из спонтанного источника  $^{252}\text{Cf}$ .

В 2013 году была создана установка, предназначенная для прецизионных измерений множественности мгновенных нейтронов деления (МНД) в зависимости от распределений масс осколков деления (ОД) и их полной кинетической энергии (ПКЭ). Детектор построен на базе позиционно-чувствительной двойной ионизационной камеры деления с анодом, состоящим из 48 полос (рис. 27).



**Рис. 27.** Общий вид позиционно-чувствительной камеры. Крышка камеры с закрепленным 48-стриповым анодом.

Согласно расчетам координатное разрешение детектора в плоскости анода не превышает сотых долей миллиметра. С помощью созданной установки можно реализовать высококачественные измерения не только распределений МНД, но также массово-энергетических характеристик. Кроме этого, предложено использование разработанного детектора в экспериментах по нейтронной радиографии в качестве вполне конкурентной альтернативы к используемым в настоящее время решениям. Для этого был рассмотрен полностью цифровой вариант электронной аппаратуры дискретизации импульсов двойной ионизационной камеры, состоящей из 128 параллельных каналов дискретизации импульсов.

#### 1.2.1.4. Исследования нарушения пространственной четности в ядерных реакциях.

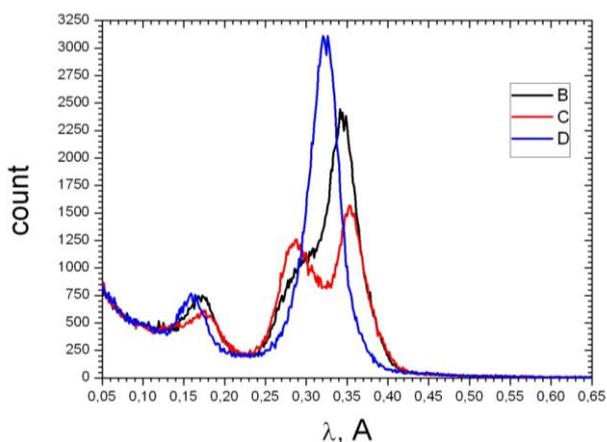
Ранее на пучке холодных поляризованных нейтронов PF1В реактора ИЛЛ (Гренобль, Франция) были проведены измерения Р-нечетной асимметрии в радиационном захвате на естественном свинце. Эксперимент проводился с целью получения дополнительной информации для объяснения аномально большой величины поворота спина нейтронов в измерениях пропускания поперечно поляризованных нейтронов через образец. Получено ограничение на эффект в радиационном захвате  $\alpha_\gamma \leq 8.1 \cdot 10^{-7}$ . Проведен теоретический анализ и сделаны расчеты Р-нечетных эффектов при взаимодействии поляризованных нейтронов с естественным свинцом. Расчеты выполнены для двух наборов резонансных параметров. Для дальнейшего исследования эффектов несохранения четности в свинце предпочтительны два возможных эксперимента: измерение асимметрии в полном сечении и в радиационном захвате. Хотя эти эффекты много меньше, чем в экспериментах по вращению спина, но их реализация проще методологически.

Проведен анализ экспериментальных коэффициентов лево-правой и Р-нечетной асимметрии в интегральном спектре  $\gamma$ -квантов при взаимодействии ядер с поляризованными тепловыми нейтронами. Из приведенных результатов следует, что во всех случаях, когда в измерениях Р-нечетной асимметрии наблюдается значимый эффект, коэффициент лево-правой асимметрии оказывался намного меньше коэффициента Р-нечетной, хотя, казалось бы, согласно теоретическим расчетам, эти коэффициенты должны быть примерно равными для интегрального спектра для тепловой энергии нейтронов одного и того же ядра. Достоверно лево-правая асимметрия не обнаружена ни в одном из исследованных ядер, кроме разве брома. Поскольку измеренные значения коэффициентов лево-правой асимметрии гораздо меньше для  $^{nat}\text{La}$ ,  $^{nat}\text{Cl}$ ,  $^{nat}\text{Br}$ , чем это следует из расчета, необходимо продолжить эти исследования на пучках с высоким потоком нейтронов для получения по возможности значимого результата в измерениях коэффициента лево-правой асимметрии и выяснения причин расхождения расчета и эксперимента.

## 1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

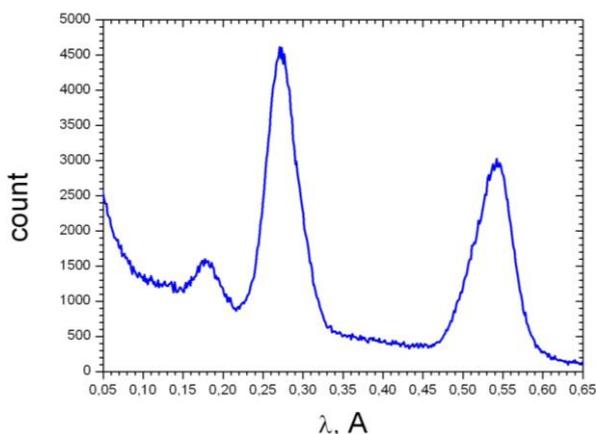
### 1.2.1.5. Исследования возможности поиска нарушения пространственной четности в дифракции нейтронов.

На канале №1 реактора ИБР-2 выполнены исследования дифракции нейтронов на монокристалле бромида калия в окрестности р-волнового резонанса  $^{81}\text{Br}$ . На **рис. 28** представлены спектры нейтронов дифракции для трех углов падения нейтронов на монокристалл. Видно, что поворот кристалла на  $100''$  приводит к расщеплению рефлекса 1-го порядка, а рефлекс 2-го порядка просто смещается. Наблюдаемый эффект скорее всего связан с трех волновой дифракцией нейтронов (эффект многократного рассеяния).



**Рис. 28.** Спектры нейтронов дифракции. Синяя линия – точное выполнение условий Брэгга, черная линия – кристалл повернут на  $60''$ , красная линия – кристалл повернут на  $100''$ .

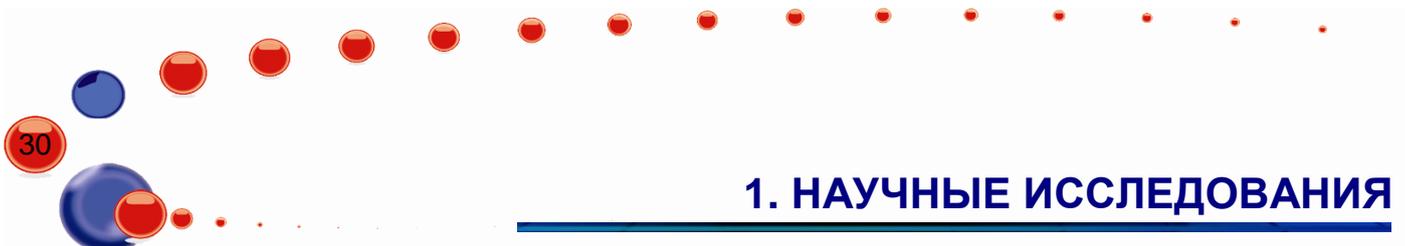
Для того чтобы проверить эффект многократного рассеяния в дифракции нейтронов, было решено уйти в область более низких энергий нейтронов. Результаты измерений представлены на **рис. 29**. Видно, что рефлекс 2-го порядка больше рефлекса 1-го порядка и это можно объяснить только трехволновой дифракцией нейтронов (многократным брэгговским рассеянием).



**Рис. 29.** Спектр нейтронов дифракции от монокристалла  $\text{KBr}$ , рефлекс первого порядка соответствует длине волны  $\sim 0,55 \text{ \AA}$ .

### 1.2.1.6. Исследования реакций (n,p), (n, $\alpha$ ).

Продолжаются 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



# 1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

быстрыми нейтронами, представляют значительный интерес для изучения механизмов ядерных реакций, структуры атомных ядер, выбора конструкционных материалов и проведения расчетов при создании новых установок ядерной энергетики.

В конце 2013 г. проведены измерения реакций  $^{66}\text{Zn}(n,\alpha)^{63}\text{Ni}$  и  $^{144}\text{Sm}(n,\alpha)^{141}\text{Nd}$  при  $E_n=4$  МэВ, тем самым была завершена серия измерений этих реакций, начатая нами годом ранее. Проведены также измерения реакции  $^{54}\text{Fe}(n,\alpha)^{51}\text{Cr}$  при  $E_n=5.5$  и  $6.5$  МэВ. Получены энергетические спектры заряженных частиц, данные обрабатываются.

Завершена обработка данных измерений реакций  $^{57}\text{Fe}(n,\alpha)^{54}\text{Cr}$  и  $^{63}\text{Cu}(n,\alpha)^{60}\text{Co}$  при  $E_n=4.0-6.5$  МэВ. Проведено сравнение полученных экспериментальных данных с существующими библиотечными оценками и данными других авторов (рис. 30, 31). Анализ показывает существенное разногласие расчетных данных, представленных различными библиотеками, в то время как для изотопа  $^{57}\text{Fe}$  экспериментальных данных нет. Для  $^{63}\text{Cu}$  имеются два достаточно давних измерения в области нескольких МэВ, но со значительным расхождением.

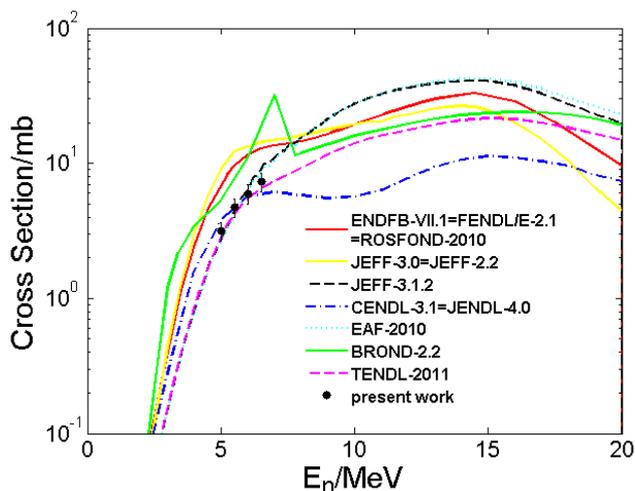
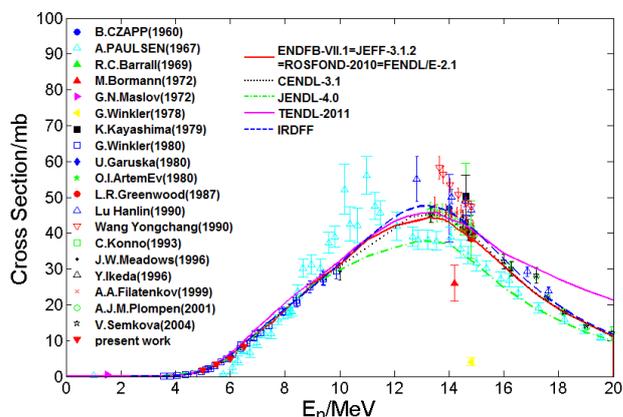


Рис. 31. Полученные сечения реакции  $^{63}\text{Cu}(n,\alpha)^{60}\text{Co}$  в сравнении с существующими на сегодняшний день данными и оценками (Справа).

Рис. 30. Полученные сечения реакции  $^{57}\text{Fe}(n,\alpha)^{54}\text{Cr}$  в сравнении с оценками (Слева).



Проведен теоретический анализ усредненных по спектру деления сечений реакций  $(n,p)$ ,  $(n,\alpha)$  в рамках статистической модели. Сечения реакций  $(n,\alpha)$  и  $(n,p)$ , вызванных быстрыми нейтронами, важны для оценки производства водорода и гелия, ядерного нагрева и трансмутации в конструкционных материалах для ядерной энергетики, с другой стороны систематический анализ нейтронных сечений необходим при изучении механизмов ядерных реакций. К тому же часто бывает необходимо оценить нейтронные сечения ядер, для которых нет экспериментальных данных, невозможно или затруднено их получение. Мы использовали статистическую модель, основанную на теории Вайскопфа и Ивинга для систематического анализа известных экспериментальных сечений  $(n,\alpha)$  и  $(n,p)$  реакций, усредненных по спектру нейтронов деления  $^{235}\text{U}$ . Поскольку наша основная цель — получение усредненного систематического поведения сечений  $(n,\alpha)$ ,  $(n,p)$  реакций для средних и тяжелых ядер в энергетической области спектра нейтронов деления, мы не рассматривали более детальную

## 1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

теорию Хаузера-Фешбаха, в которой используется оптический потенциал в зависимости от отдельных свойств ядер. Для средних и тяжелых ядер ( $Z \gg 1$ ) были получены формулы:

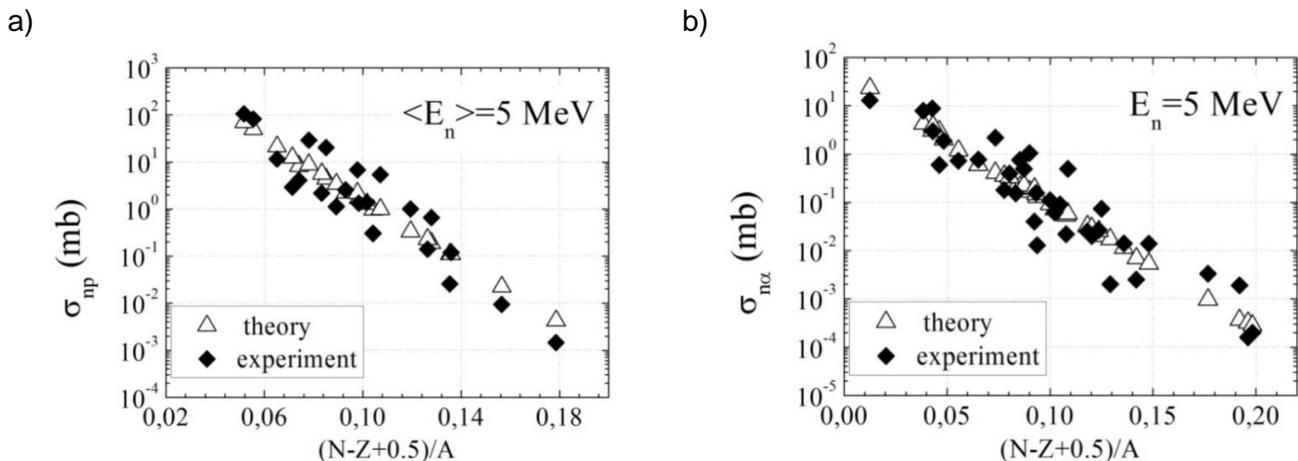
$$\sigma(n, p) = C_p \pi (R + \lambda/2\pi)^2 e^{-K_p \frac{N-Z+1}{A}},$$

$$\text{где } C_p = \exp\left(Z A^{1/6} \frac{2\gamma-1}{\sqrt{13.5(E_n + Q_{np})}}\right), K_p = 4\xi \sqrt{\frac{A}{13.5(E_n + Q_{np})}}$$

$$\sigma(n, \alpha) = C_\alpha \pi (R + \lambda/2\pi)^2 e^{-K_\alpha \frac{N-Z+0.5}{A}},$$

$$C_\alpha = 2 \exp\sqrt{\frac{A}{13.5(E_n + Q_{n\alpha})}} \left(-3\alpha + \gamma \left(\frac{4Z}{A}\right) + \varepsilon_\alpha - 2.058 \frac{Z}{A^{1/3}}\right), K_\alpha = 2\xi \sqrt{\frac{A}{13.5(E_n + Q_{n\alpha})}}.$$

здесь  $Z$ ,  $N$ ,  $A$  – число нейтронов, протонов и массовое число ядра-мишени;  $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\xi$  – константы Вайцзеккера;  $\varepsilon_\alpha$  – энергия связи  $\alpha$ -частицы. Параметры  $K_i$  и  $C_i$  ( $i = p$  или  $\alpha$ ) для каждой энергии нейтронов могут быть получены из соответствующих зависимостей имеющихся экспериментальных данных. На **рис. 32а**), **32б**) представлены вычисленные по вышеприведенным формулам с параметрами  $K_p = 80$ ,  $C_p = 2.8$ ,  $K_\alpha = 65$ ,  $C_\alpha = 0.04$  значения сечений для средней энергии нейтронов 5 МэВ в сравнении с экспериментальными данными.



**Рис. 32.** а) Теоретические и экспериментальные сечения (n,p) реакции; б) Теоретические и экспериментальные сечения (n,α) реакции.

### 1.2.1.7. Исследования структуры ядра.

На базе модели Струтинского для плотности n-квазичастичных уровней и модели Кадменского, Маркушева и Фурмана для радиационных ширин E1-переходов между высоковозбужденными уровнями с использованием ряда феноменологических представлений разработан первый вариант перспективной практической модели каскадного гамма-распада

## 1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

нейтронного резонанса. Модель базируется на результатах выполненного в ЛНФ ОИЯИ анализа полученных к настоящему времени экспериментальных данных об интенсивностях  $I_{\gamma\gamma}$  двухквантовых каскадов между нейтронным резонансом и группой его низколежащих уровней. Модель предполагает, что сосуществование и взаимодействие фермионной и бозонной компонент ядерной материи может определять свойства ядерной материи в интервале энергии возбуждения, равном энергии связи нейтрона в ядре или несколько больше.

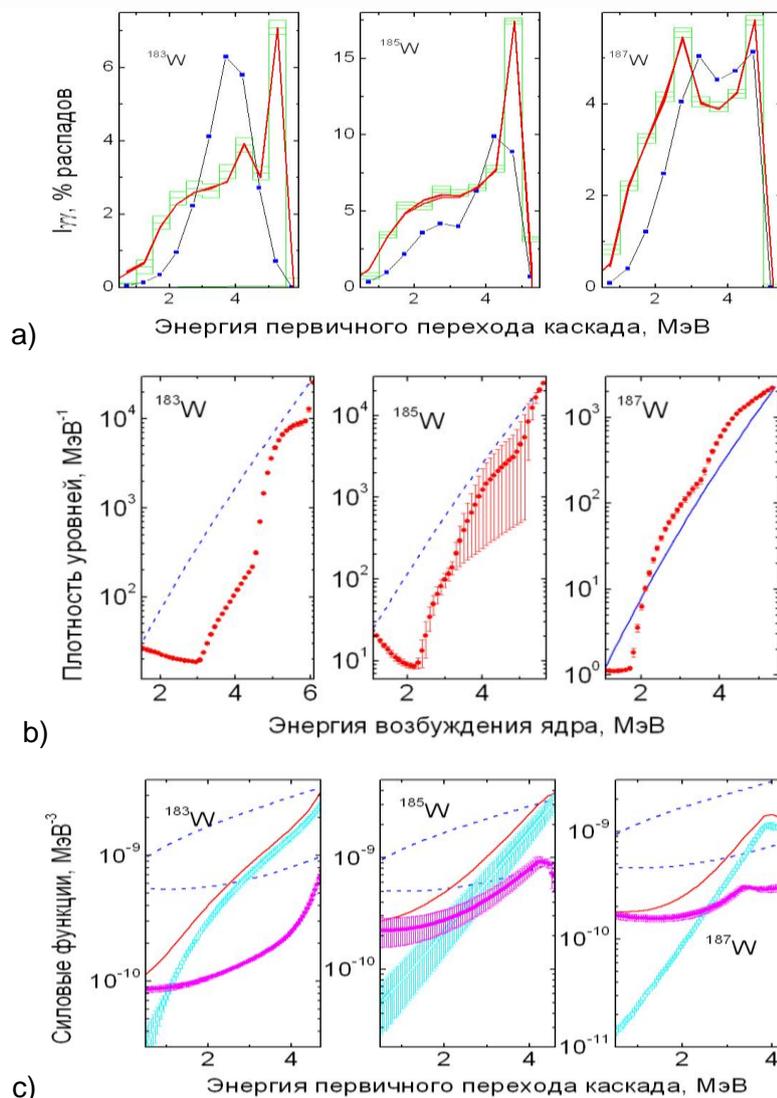
В реализованном варианте модель позволила описать интенсивности таких каскадов с точностью эксперимента для имеющегося набора из 40-ка составных ядер в области масс от  $^{40}\text{K}$  до  $^{200}\text{Hg}$ . Существующие до настоящего времени модельные представления о ядре, как о чисто фермионной системе, воспроизводят эти данные с погрешностью от нескольких десятков до сотни процентов (или даже больше).

Исследования показали, что спектры гамма-распада нейтронного резонанса и, вероятно, сечения взаимодействия нейтронов с ядром можно воспроизводить с точностью современного эксперимента при учете разрыва максимум 4 куперовских пар нейтронов (и/или протонов). Таким образом, наша модель позволяет получать недоступную иным методикам эксперимента фундаментальную информацию о свойствах сверхтекучей фазы ядерной материи в объекте конечного размера, содержащего заряженные и нейтральные ферми-частицы и т.д.

В качестве примера ниже приведены результаты модельной аппроксимации интенсивностей каскадов в трех четно-нечетных изотопах вольфрама (рис. 33). Экспериментальные данные получены в одном и том же эксперименте. Соответственно небольшие экспериментальные ошибки интенсивности сильно коррелированы. И не могут объяснить расхождения данных эксперимента с расчетами, использующими модельные представления о ядре как о системе только ферми-частиц. Это – прямое следствие того, что коэффициенты переноса ошибок плотности уровней и силовых функций на ошибки  $I_{\gamma\gamma}$  быстро возрастают при уменьшении энергий первичного перехода каскада и могут превышать значение  $10^2$ - $10^3$ .

Ступенчатая структура наиболее вероятной плотности уровней может быть объяснена только моделью, предполагающей, что число неспаренных нейтронов и протонов (в терминах теоретических моделей ядра – квазичастиц) при пороговых энергиях разрыва куперовских пар возрастает на две единицы. Необходимость использования в анализе эксперимента полностью феноменологических представлений о плотности бозонных возбуждений и ширинах гамма-переходов при их распаде/возбуждении обуславливает неизбежные систематические ошибки и в полученных данных для плотности уровней, и в силовых функциях. (Моделей, пригодных для анализа эксперимента и учитывающих последовательный разрыв куперовских пар для описания соответствующих параметров бозонной компоненты ядра, в настоящее время не существует.)

# 1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ



**Рис. 33 а.** Гистограммы – сопоставление экспериментальных интенсивностей каскадов (совместно с ошибками эксперимента) с расчетами, использующими статистическое представление о ядре и общепринятые модели плотности уровней и радиационных силовых функций (синие точки). Красные линии – группа из семи наилучших аппроксимаций, отличающихся исходными данными предлагаемой модели и случайными путями процесса поиска минимума  $\chi^2$ . Очень малый разброс этих данных показывает, что для реализованной модели существует только единственный минимум функции правдоподобия. **б.** Красные точки с ошибками – среднее значение наилучшей аппроксимирующей плотности уровней и их разброс для семи вышеприведенных вариантов аппроксимации. Синие линии – плотность промежуточных уровней каскадов для модели Ферми-газа. Точки излома – наиболее вероятные пороги разрыва очередной куперовской пары нуклонов ядра. **с.** Верхние синие линии – экстраполяция хвоста гигантского дипольного электрического резонанса, нижние – модели КМФ в сумме с постоянной силовой функцией M1-переходов. Голубые и фиолетовые точки с ошибками – силовые функции E1- и M1-переходов и их разброс соответственно. Красные линии – среднее значение суммы силовых функций E1- и M1- переходов, обеспечивающих наилучшую аппроксимацию  $I_{\gamma\gamma}$  (без коэффициентов, учитывающих отношение модельных и аппроксимирующих плотностей уровней (Рис. 18 б)).

## 1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

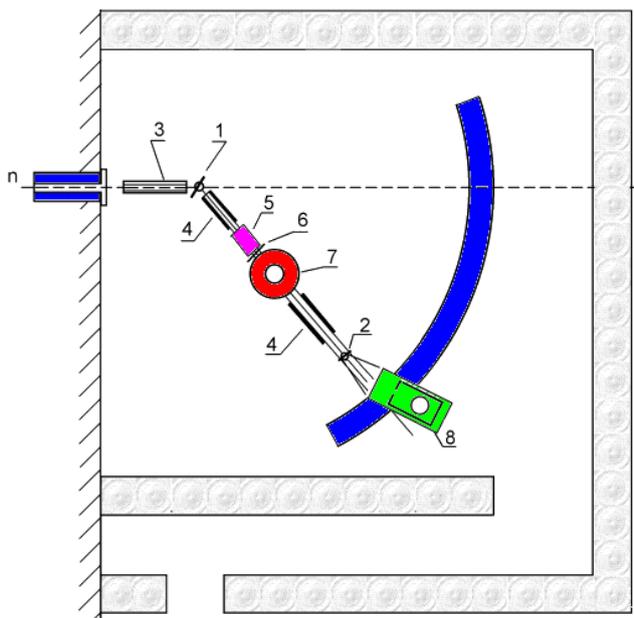
Значительный, но конечный разброс данных для фиксированных мультипольностей гамма-переходов и его практическое отсутствие для их суммы указывают на сильную антикорреляцию плотности уровней заданной четности и мультипольности возбуждающих их первичных переходов. Однако, эта корреляция значительно меньше по сравнению с данными иных реализованных к настоящему времени экспериментов.

### 1.2.1.8. Поиск синглетного состояния дейтрона.

На канале 116 реактора ИБР-2 проведён эксперимент по поиску синглетного дейтрона в реакции  $n + p \rightarrow d + 2\gamma$ . Спектр гамма-квантов от мишени из полиэтилена измерялся с помощью HPGe детектора. В пике, соответствующем прямому переходу с энергией 2223 кэВ, набрана статистика  $2 \cdot 10^8$  отсчётов. Получена верхняя оценка сечения для испускания гамма-квантов с энергией в интервале 2100 - 2200 кэВ порядка 15 мкб (на уровне  $3\sigma$ ), что в 2 раза ниже величины, полученной Р.Хакенбургом (БНЛ). Планируется продолжить этот эксперимент с усовершенствованной методикой и новым программным обеспечением. Возможно также проведение этого эксперимента в Гренобле.

### 1.2.1.9. Модернизация установки «Колхида».

В ОИЯИ на импульсном реакторе ИБР-2 создана установка «Колхида», предназначенная для исследования нейтронно-оптических явлений при взаимодействии поляризованных нейтронов с поляризованными ядрами. Установка «Колхида» состоит из следующих компонентов: спектрометр поляризованных нейтронов, поляризованная ядерная мишень, система управления. Спектрометр поляризованных нейтронов расположен на тангенциальном канале №1 импульсного реактора ИБР-2. Общая схема спектрометра изображена на **рис. 34**

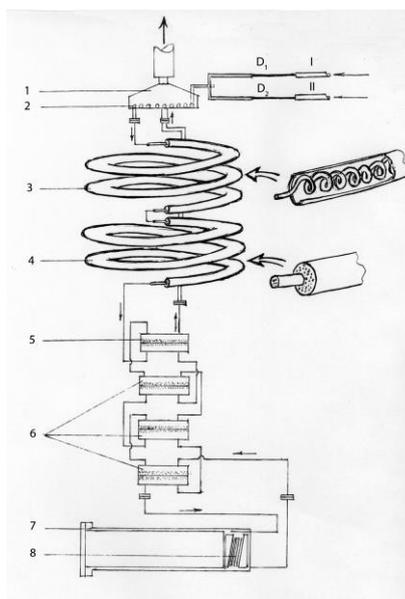


**Рис. 34.** Общая схема спектрометра: 1 – первичный коллиматор; 2 – коллиматор Соллера; 3 – кристалл поляризатора; 4 – ведущие магнитные поля; 5 – флиппер Мезея; 6 – шим; 7 – криостат; 8 – кристалл анализатора; 9 – детектор.

## 1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для подготовки установки «КОЛХИДА» к штатной работе была осуществлена модернизация электроники управления исполнительными механизмами. В частности, для спектрометра поляризованных нейтронов установлены шаговые двигатели FL57STH76-1006B для изменения углового положения плеча детектора, платформы, поляризатора и анализатора. Для определения углов поворота установлены датчики угла OCD-SL00B-0016-S100 CRW. Система вращения различных компонентов установки осуществляется с помощью компьютерной программы. Программа использует алгоритм, при которой учитывается люфты двигателя. Таким образом, углы задаются с точностью  $< 0.1^\circ$ . Другая компьютерная программа управляет источником тока. С помощью этой программы устанавливается ток в сверхпроводящем соленоиде до 110 А с точностью 5 мА.

Также была модернизирована поляризованная ядерная мишень (рис. 35). Обновлена инфраструктура криостата растворения путем замены старых вакуумных устройств на современные, создана новая ванна растворения криостата, создан новый компонент криостата для нейтронного исследования образцов в сильном магнитном поле и при комнатной температуре.



**Рис. 35.** Общий вид и схема узла растворения  ${}^3\text{He}$  в  ${}^4\text{He}$ : 1 – ванна испарения; 2 – теплообменник ванны испарения; 3 – непрерывный теплообменник; 4 – спеченный непрерывный теплообменник; 5 – спеченный дискретный медный теплообменник; 6 – спеченные дискретные серебряные теплообменники; 7 – ванна растворения; 8 – ферромагнитный нейтронный резонатор с поляризованной мишенью

### 1.2.1.10. Экспериментальное изучение возможности накопления холодных нейтронов на конце выведенного пучка тепловых нейтронов.

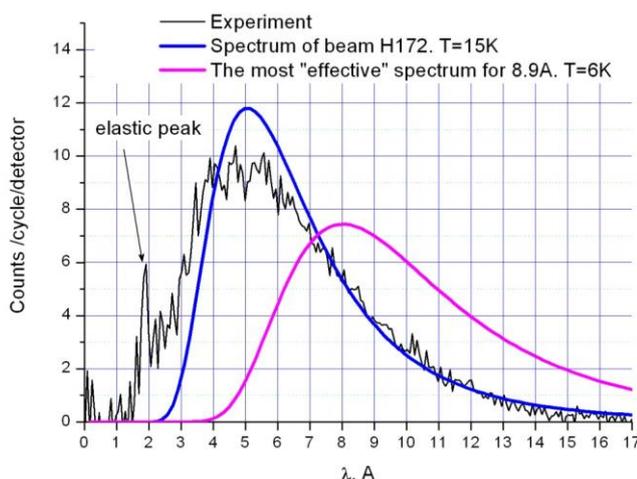
Ранее нами была предложена идея создания нового источника УХН высокой мощности, производительность которого на высокоинтенсивных нейтронных пучках (как на реакторе ILL) может достигать  $\sim 10^8$  УХН/с, а объёмная плотность УХН –  $10^5$  н/см<sup>3</sup>, что на 3 порядка превышает ныне существующие источники. Идея заключается в создании потока холодных (с длиной волны 9 Å) нейтронов в полости из замедлителя/отражателя, расположенного на конце выведенного нейтронновода с тепловыми нейтронами, и размещения в этой полости гелиевого

## 1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

источника УХН. Сама полость является в этом случае источником холодных нейтронов. В качестве замедлителя/отражателя было предложено использовать твёрдый метан. Таким образом, источник УХН представляет собой сферический сосуд, заполненный жидким гелием при температуре 0.6 К, и окруженный замедлителем из твердого метана. Такая схема источника холодных нейтронов (расположение его на выведенном пучке тепловых нейтронов), многократно снижает тепловую нагрузку на источник и, соответственно, его стоимость по сравнению с источниками, размещёнными у активной зоны реактора. Снижение стоимости источника позволит существенно расширить спектр применения УХН и использовать эти нейтроны не только для проведения фундаментальных исследований, но также для прикладных и образовательных целей.

Для проверки идеи использования полости из твёрдого метана для формирования потока холодных нейтронов на конце нейтронотода с потоком тепловых нейтронов проведены тестовые измерения. Для этих измерений в 2012-2013 годах был разработан и изготовлен специальный криостат. Сами тестовые измерения проведены в 2013 году на инструменте DIN-2PI на канале №2 реактора ИБР-2. Инструмент предназначен для измерения неупругих передач энергии нейтронов методом времени пролета. На **рис. 36** представлены предварительные результаты измерения спектра нейтронов, формирующегося в метановой полости при облучении её нейтронами с энергией 25.0 эВ (длина волны 1.8 Å).

Solid methane. T=6.6K



**Рис. 36.** Спектр нейтронов, замедленных в полости метана.

Для сравнения с измеренным спектром на **рис. 36** показаны максвелловские спектры нейтронов, соответствующие различным температурам. Один из них – спектр, при котором достигается наибольшее число нейтронов с длиной волны 9 Å (температура спектра 6 К). Второй – спектр нейтронов в одном из нейтронотодах, идущих от холодного замедлителя реактора ILL (Франция) (температура этого спектра 15 К). Интегралы под всеми спектрами одинаковы. По результатам измерений оценено, что альbedo метана для спектра, представленного на **рис. 36**, составляет ~65%, что очень близко предварительным расчётным оценкам, следующим из энергетической зависимости сечений.

Полученные результаты тестовых измерений говорят о том, что на пучке тепловых нейтронов внутри метановой полости можно получить спектр нейтронов близкий к спектру, идущему от холодного реакторного источника. Альbedo от твёрдого метана для холодных нейтронов близко к расчётному значению. Таким образом, идея создания гелиевого источника

## 1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УХН внутри холодной полости на конце нейтроновода с тепловыми нейтронами представляется вполне реализуемой. Следующим шагом на пути развития данной идеи является создание прототипа источника, на котором необходимо проверить решения довольно большого числа технических проблем. Дальнейшая оптимизация температуры замедлителя возможна на прототипе источника УХН по выходу ультрахолодных нейтронов, т.к. вклад многофононных процессов в генерацию УХН может быть значительным.

### 1.2.1.11. Исследования физики УХН.

В совместной работе в составе коллаборации по ультрахолодным нейтронам (UCN collaboration, LANSCE, Los Alamos) измерены и опубликованы сечения неупругого рассеяния (нагрев УХН) для ванадия, V, и полиэтилена,  $[C_2H_4]_n$ . Подобные измерения актуальны, поскольку эти материалы широко используются в практике УХН-экспериментов, однако, имеющиеся данные противоречивы и зачастую не согласуются с теорией. В измерениях использован твердо-дейтериевый источник, в котором быстрые, генерированные 800-Мэвным пучком протонов, нейтроны замедляются в область УХН энергий. Выполненные измерения основаны на сравнении между V и  $[C_2H_4]_n$  отношений отсчетов гамма-детектора и детектора рассеянных нейтронов с использованием известных значений сечений радиационного захвата. Измерения с гамма-детектором (HPGe) и нейтронным детектором ( $^3He$  газовый счетчик) осуществлялись одновременно. Для УХН спектра со средней скоростью 4 м/с получены величины сечений нагрева  $1970 \pm 130$  б и  $25 \pm 9$  б для полиэтилена и ванадия соответственно. Результат для ванадия получен впервые, и он согласуется с теоретической оценкой. Сравнение с данными из других экспериментов показало, что результат для полиэтилена согласуется лишь со значением, полученным в Гренобле Ю. Покотилевским, однако он значительно ниже модельного значения 3500 б, получаемого из экстраполяции к 4 м/с по расчетам MCNP с существующей библиотекой данных для тепловых нейтронов.

В этой же коллаборации выполнена работа по измерению средней энергии потока "нагретых" нейтронов в результате взаимодействия УХН с ядрами водорода в поликристаллическом полимере PMP,  $[C_6H_{12}]_n$ . Работа представляет интерес в сравнении с нагревом УХН в полиэтилене,  $[C_2H_4]_n$ , и в связи с пока нерешенной проблемой потерь УХН при их хранении. Работа проведена с использованием твердо-дейтериевого источника УХН в Лос Аламосе. Измерялось отношение отсчетов рассеянных нейтронов для двух детекторов разной эффективности, и это отношение зависит от формы спектра потока и его средней энергии. Использовались газовые  $^3He$  детекторы с парциальным давлением 180 кПа в одном и 20 кПа в другом детекторах. Для получения результата, измеренное отношение сравнивалось с расчетами для разных средних энергий с использованием программы MCNP, в которой моделирование рассеяния в основном базируется на однофононном приближении, но также учитывает и многофононные процессы неупругого рассеяния нейтронов. Такое моделирование показало, что спектр энергий в потоке рассеянных нейтронов явно отличен от спектра Максвелла. Полученное нами значение средней энергии  $26 \pm 3$  мэВ для полимера PMP отличается вдвое от значения 11 - 13 мэВ для полиэтилена, которое было получено ранее в анализе с использованием спектра Максвелла. В заключении нашей работы приводятся аргументы, согласно которым следует ожидать близкие значения средних энергий для  $[C_6H_{12}]_n$  и  $[C_2H_4]_n$ .

### 1.2.1.12. Сотрудничество в коллаборации GRANIT в ILL (Франция).

ЛНФ ОИЯИ совместно с ФИАН и Университетом Вирджинии (США) являются коллективным членом коллаборации GRANIT. Цель коллаборации состоит в развитии и строительстве гравитационного нейтронного спектрометра второго поколения с ультравысоким энергетическим разрешением – GRANIT (Гравитационные Нейтронные Индуцированные

## 1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Переходы). Этот спектрометр позволит наблюдать резонансные переходы между квантовыми состояниями нейтрона в поле тяготения Земли. Планируется впервые прецизионно измерить энергию квантовых состояний. Ожидается, что в спектрометре можно будет достичь времени хранения УХН в квантовых состояниях порядка секунды.

К концу 2013 года введены в эксплуатацию и протестированы все основные части спектрометра. Источник УХН, предназначенный для спектрометра, устойчиво работает, а нейтроны из источника извлечены в спектрометр. Измерен спектр, извлекаемых в спектрометр нейтронов, который оказался очень мягким. Так как с августа 2013 года до июля 2014 года реактор ILL, на котором расположен спектрометр GRANIT, остановлен, то коллаборацией ведутся исследования возможностей улучшения параметров источника УХН и системы детектирования нейтронов.

### 1.2.1.13. *Продолжение эксперимента по проверке слабого принципа эквивалентности для нейтрона.*

Продолжена работа по проверке слабого принципа эквивалентности для нейтрона с гравитационным спектрометром EpiGraph, построенным в 2010-11 годах. Работа прибора основана на совместном использовании Нейтронных интерферометров Фабри-Перо и прерывателя-модулятора нейтронного потока (см. **рис. 37**). Изменение энергии нейтрона  $mgH$  при падении в гравитационном поле сравнивалась с энергией передаваемой нейтрону при дифракции в  $-1$  порядок на движущейся дифракционной решетке.



**Рис. 37.** Прерыватель-модулятор.

Особенностью прибора является возможность использования оригинального метода времени пролета, основанного на измерении фазы осцилляции скорости счета детектора. Регистрация УХН ведется детектором, синхронизованным с модулятором. Высокая степень монохроматизации пучка ( $\Delta v/v < 2\%$ ) позволяет работать с временами пролета, многократно превышающими период модуляции, что обеспечивает уникальное энергетическое разрешение прибора.

На пучке УХН Института Лауэ-Ланжевена проведен полномасштабный тестовый эксперимент с новыми интерферометрами Фабри-Перо и новой дифракционной решеткой. В конструкцию прибора внесен ряд усовершенствований. В результате условия эксперимента существенно улучшены (см. **рис. 38** и **39**). Существенно выросла скорость счета, и отношение

## 1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

эффект фон. Увеличение глубины осцилляции скорости счета позволило увеличить частоту модуляции и, соответственно, чувствительность опыта.

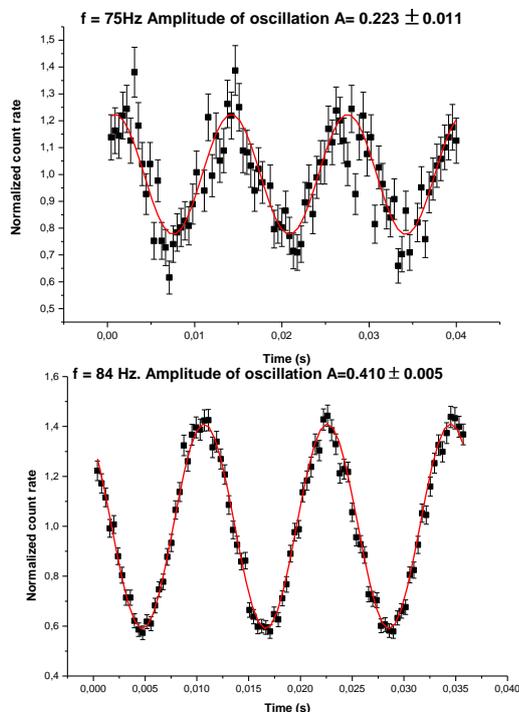


Рис. 38. Осцилляция скорости счета в эксперименте 2011 г (вверху) и в новом эксперименте.

В результате, скорость набора статистической точности в эксперименте была увеличена втрое: с  $1.5 \times 10^{-2}$  в день в 2011 году до  $5 \times 10^{-3}$  в день, что ведет к выигрышу во времени набора статистики почти на порядок.

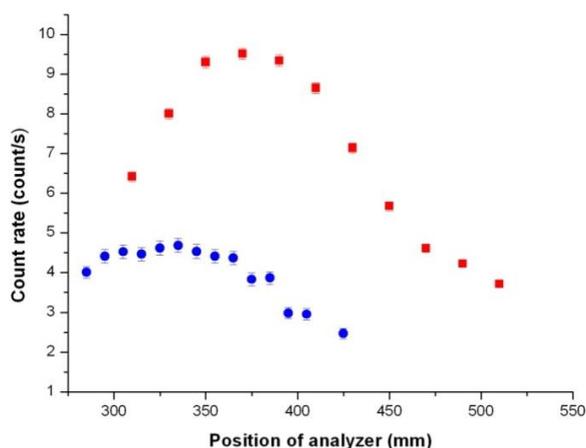


Рис. 39. Кривая сканирования (спектр) нейтронов в -1 порядке дифракции на движущейся решетке. Синие точки - в эксперименте 2011 г., красные - в новом эксперименте.

Вместе с тем, результаты эксперимента свидетельствуют о наличии некоторых систематических эффектов, изучение и исключение которых и является целью следующего этапа эксперимента.

### 1.2.1.14. Поиск взаимодействий нового типа.

Рассмотрен интерференционный метод поиска новых гипотетических взаимодействий. Хамелеонное скалярное поле сейчас рассматривается как возможная причина ускоренного расширения Вселенной. Это поле порождает потенциал взаимодействия между частицей и массивным телом. Предложен нейтронный интерферометр типа зеркала Ллойда для высокочувствительного поиска эффектов хамелеонного поля, в котором взаимодействие нейтрона с отражающим зеркалом приводит к сдвигу фазы нейтронной волны.

В более широком плане проанализированы возможные нейтронно-интерферометрические эксперименты по высокочувствительному поиску новых взаимодействий, как зависящих от спина (аксионное взаимодействие), так и не зависящих от спина (не Ньютоновская гравитация на малых расстояниях).

### 1.2.2. Методические и прикладные исследования.

#### 1.2.2.1. Работы в сотрудничестве с ИКИ РАН.

Продолжаются работы по созданию аппаратуры для исследования планет Солнечной системы. В 2013 г. проведена калибровка нейтронных детекторов и гамма-спектрометра научной аппаратуры «Меркурианский гамма и нейтронный спектрометр» (НА МГНС). МГНС будет установлен на борту межпланетной миссии Европейского космического агентства «VeriColombo», запуск которой запланирован на 2015 г. Прибор предназначен для поиска водяного льда и определения элементного состава приповерхностного слоя грунта Меркурия.

Ведется мониторинг выхода нейтронов импульсного генератора ИНГ-10К. Идентичный генератор является частью научной аппаратуры «Динамическое альbedo нейтронов» (НА ДАН), находящейся в настоящее время на борту марсохода «Кьюриосити».

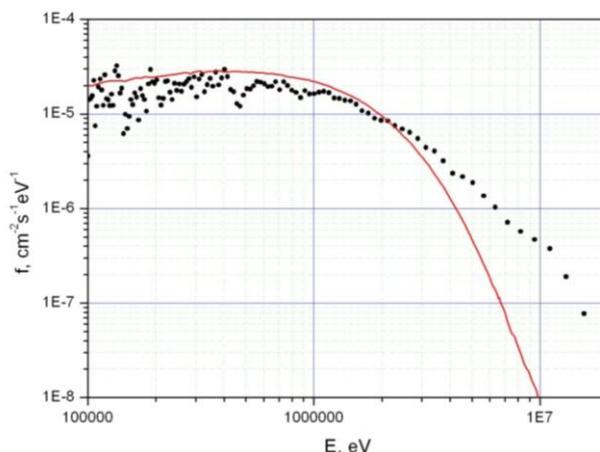
#### 1.2.2.2. Аналитические и методические исследования на установке ИРЕН.

На пучке нейтронов установки ИРЕН с применением методов нейтронной спектроскопии продолжались исследования образцов грунта с высокогорного ледника Актру на Алтае с целью обнаружения космической пыли. Продолжалась обработка данных измерений пропускания нейтронов через образцы новых многофункциональных материалов, изготовленных в Белорусском государственном университете (Минск). Цель исследований — определение содержания бора в образцах. Для дальнейшего развития метода неразрушающего контроля элементного/изотопного состава образцов с применением техники нейтронной спектроскопии были проведены сравнительные исследования образца руды, предоставленной Центральной геологической лабораторией Министерства энергетики и природных ресурсов Монголии. В одном случае измерения были выполнены методом анализа нейтронных резонансов при радиационном захвате, в другом – применялась активационная методика. Результаты обоих методов находятся в хорошем согласии, однако при данной интенсивности установки ИРЕН активационная методика более чувствительна.

В 2013 г. на ИРЕН были проведены радиационные тесты сцинтилляторов и образцов мегатайла установки CMS (ЦЕРН). Это было необходимо для выбора оптимальных условий будущих экспериментов. Спектр нейтронов ИРЕН близок к спектру нейтронов в адронном калориметре CMS. Облучение образцов проводилось интегральным потоком  $10^{12}$  н/см<sup>2</sup>. Затем в течение 3-х недель измерялась наведённая активность на двух расстояниях от образца. Измерения спектров испускаемого гамма излучения проводились HpGe-детектором фирмы «Canberra».

## 1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Были опробованы несколько методик прямого измерения спектра быстрых нейтронов установки ИРЕН. Достаточно перспективным оказалось применение камеры деления с мишенью  $^{235}\text{U}$  с токовым предусилителем для снятия сигнала. Применение такой аппаратуры в сочетании с высоким временным разрешением установки (100 нс) позволяет на пролетной базе 60 м регистрировать нейтроны с энергией до 20 МэВ (см. **рис. 40**). Однако в области энергий выше 3 МэВ имеется расхождение между измеренной плотностью потока и рассчитанной методом Монте-Карло. Исследования будут продолжены.



**Рис. 40.** Плотность потока нейтронов установки ИРЕН на пролетной базе 60 м: точки – экспериментальные значения, линия – расчет методом Монте-Карло.

### 1.2.2.3. Аналитические исследования на пучках заряженных частиц ускорителя ЭГ-5.

В 2013 году ускоритель ЭГ-5 проработал на различные эксперименты около 600 часов. Исследования глубинных профилей элементов с помощью ядерно-физических аналитических методик RBS (метод Резерфордского обратного рассеяния) и ERD (метод ядер отдачи) проводились совместно с представителями различных институтов стран-участниц ОИЯИ. В экспериментах принимали участие сотрудники ЛЯР, ЛЯП, Воронежского государственного университета, Томского политехнического университета, сотрудники Университета Марии Кюри-Склодовской (Люблин, Польша) и Электро-технологического института Словацкой Академии наук (Братислава). Были проанализированы образцы различного элементного состава и различных технологий приготовления в том числе, в частности, были исследованы глубинные профили элементов в образцах нанокристаллических пленок карбида кремния, приготовленных с помощью технологии PECVD (плазмохимическое осаждение из газовой фазы). Выполнено исследование электрических и оптических характеристик пленок в зависимости от их элементного состава.

Глубинные профили водорода и дейтерия были также исследованы с помощью ядерно-физических аналитических методик RBS и ERD в образцах, приготовленных для исследования ядерной реакции  $d(d,\gamma)^3\text{He}$  при низких энергиях.

### 1.2.2.4. Аналитические исследования на реакторе ИБР-2.

#### Развитие экспериментальной базы сектора НАА

В подотчетный период в секторе НАА и прикладных исследований разрабатывался пакет программ для комплексной автоматизации нейтронного активационного анализа на исследовательской ядерной установке ИБР-2, включающий в себя:

## 1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

- базу данных анализируемых образцов и всех операций по проведению НАА;
- программу автоматизации измерения спектров наведенной активности с использованием программы набора и анализа спектров Genie-2000 и средства поддержки пакетных процедур S561 Genie-2000;
- программу автоматизации расчета концентраций элементов по результатам анализа гамма спектров программой Genie-2000;
- набор сервисных программ для автоматизации и облегчения заполнения базы данных;
- набор вспомогательных программ для обеспечения удобства работы и выполнения некоторых процедур QC/QA.

В процессе обучения персонала работе с пакетом программ проводилась модернизация программного обеспечения. Выполнена частичная модернизация механической части пневмотранспортной установки. Ведется работа по созданию устройств автоматической смены образцов на трех детекторах – приобретены устройства для двухосевого линейного перемещения образцов; разработаны и изготавливаются остальные комплектующие устройства.

Проведены тестовые испытания устройств линейного перемещения образцов на стенде. Разрабатывается программа управления устройствами автоматической смены образцов, совмещенная с программой автоматизации измерения спектров.

Работы по автоматизации НАА на реакторе ИБР-2 проводятся в рамках Координационной программы МАГАТЭ «Development of an Integrated Approach to Routine Automation of Neutron Activation Analysis» (F1.20.25/CRP1888, Contract No. 17363).

### Методическая работа

Проводились испытания новых упаковочных материалов для облучения образцов и изготовления транспортных контейнеров с целью выбора материала с высокой радиационной стойкостью и небольшим фоном наведенной радиоактивности после облучения. После завершения реконструкции ИБР-2 проводились измерения плотности потоков тепловых и резонансных нейтронов на некоторых пучках нейтронов в новых экспериментальных условиях.

### Биомониторинг

В рамках международной программы «Атмосферные выпадения тяжелых металлов в Европе – оценки на основе анализа мхов-биомониторов» в 2013 году завершен многоэлементный анализ 330 образцов мхов из Румынии (НАА в Дубне и атомная абсорбционная спектрометрия (ААС) в Университете «Валахия», Тарговице). Образцы были собраны участниками проекта Румыния-ОИЯИ из 4-х университетов Румынии в Тарговице, Галаты, Байа Марэ и Яши. Проведен статистический анализ полученных данных по 34 элементам и велась подготовка к изданию Атласа атмосферных выпадений следовых элементов в Румынии. Результаты этой работы будут доложены на предстоящем совещании Комиссии ООН по воздуху Европы (28-30 января 2014 года, Париж). Вклад сектора НАА в европейский атлас Европы отражен в публикациях сектора по Словакии, Македонии, Албании, Хорватии. Выполнена студенческая дипломная работа по оценке атмосферных выпадений следовых элементов вблизи тепловой электростанции в районе Очаково-Матвеевское г. Москвы. Работы по активному биомониторингу с использованием мхов-трансплантов позволили провести изучение воздушных загрязнений в центре Белграда, Сербия, а также в одном из наиболее экологически неблагоприятных районов Греции – Великой Фракийской низменности, Аттика. Эффективность использования мхов-биомониторов в изучении атмосферных выпадений радионуклидов продемонстрирована в совместных работах сектора со Словакией, Беларусью, ЮАР, Сербией и Таиландом.

# 1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

## Оценка состояния окружающей среды

В 2013 году в рамках совместного с Египтом проекта «Оценка экологической ситуации в дельте реки Нил с использованием ядерно-физических аналитических методов» продолжен многоэлементный анализ почв и донных отложений, отобранных вдоль русла реки Нил. Показано, что элементный состав этих объектов исследования определяется, главным образом, геохимическими особенностями изучаемого региона и не несет на себе следов антропогенной нагрузки.

В рамках договора о сотрудничестве с Институтом биологии южных морей (Севастополь) с целью оценки состояния прибрежной экосистемы Крыма завершен анализ образцов макроводорослей-биомониторов, отобранных в прибрежной зоне Черного моря. Отработана методика пробоотбора и пробоподготовки планктона для НАА на реакторе ИБР-2, и определен элементный состав 30 проб. Полученные результаты показали, что планктон может успешно использоваться в качестве биомонитора водных экосистем.

Результаты комплексных исследований воздушной среды с помощью мхов и лишайников, а также водной экосистемы вблизи развивающегося порта в Кейптауне (залив Салдана, Атлантический океан в районе Западного побережья ЮАР) с помощью моллюсков и устриц, вызвали интерес специалистов-экологов ЮАР и желание сотрудничать в рамках этого направления. Совместно с Университетом в Стелленбоше в РФФИ подан международный проект «Моллюски как биомониторы водных экосистем в ЮАР» (рег. номер 14-05-93963) по конкурсу (NFS-RFBR) на 2014 год.

Завершены и приняты в печать ведущим американским журналом *Advances in Microbiology* две совместные работы сектора и аналитического центра Геологического института РАН в области применения ядерно-физических аналитических методов для исследования качества продуктов питания, в частности, базидомицетов (грибов) Европейской части России, а статья по определению содержания Cl, Br, I и Se в организме человека – журналом *Environmental Geochemistry and Health*. Совместно с Тбилиским государственным университетом им. И. Джавахишвили, Грузия, проведены исследования сельскохозяйственных культур, подвергнутых биоэнергоактивации (направлено в журнал «Агрохимия», 2013).

## Геология

В рамках совместного проекта ОИЯИ-Румыния проведен анализ донных отложений и горных пород из двух полузакрытых систем – ледниковом озере Балеа (в горах Фагара) и в кратерном озере Св. Анны (горный массив Харгита) с целью оценки уровня антропогенного загрязнения и определения источника происхождения донных отложений. Было показано, что согласно румынским нормативам содержание потенциально загрязняющих элементов (Cr, Co, As, Sb, Se) сравнимо с естественным составом окружающей среды. Дальнейшая обработка данных (R-mode, метод главных компонент PCA) отдельно для каждого озера показала, что Sr, Cr, Co, с одной стороны, и As, Sb, Br, Se, с другой стороны, создают для этих озер два различных кластера, с разными геохимическими свойствами.

Совместно с Western Cape University, ЮАР, проведен НАА образцов золы, образованной при сжигании угля на тепловой электростанции в Матла, в провинции Мпамаланга Южной Африки (Mpumalanga Province in South Africa). Показаны аналитические преимущества НАА с использованием тепловых нейтронов в определении элементного состава золы по сравнению с такими методами, как спектрометрия оптического излучения с индуктивно-связанной плазмой (ICP-OES), масс спектрометрия со связанной плазмой и лазерной абляцией (LA ICP-MS) и рентгено-флуоресцентный анализ (XRF).

В рамках совместного проекта сектора с Университетом в Бухаресте завершен элементный анализ терапевтических грязей, отобранных в разных лечебных источниках

## 1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Румынии. В работе отмечена необходимость дальнейших исследований структуры минеральной матрицы изучаемых грязей с повышенной концентрацией некоторых тяжелых металлов, а также роли органических соединений, присутствующих в этих грязях.

### Анализ материала внеземного происхождения

В 2013 завершен промежуточный этап работ по поиску космической пыли в торфяных колонках Сибири и в талой воде высокогорного ледника Актру на Алтае. Датирование слоев торфяных колонок было проведено в Университете им. Адама Мицкевича в Польше. Частицы, выявленные с помощью методов электронной микроскопии, а также оценка результатов НАА образцов торфа из этих колонок по соотношению концентраций железа и никеля, позволяют предполагать, что выявленные частицы могут иметь внеземное происхождение. Более спорной представляется идентификация материала, собранного с помощью магнитных ловушек в талой воде ледника на Алтае. Результаты проведенных исследований докладывались и обсуждались на Семинаре ГАИШ МГУ в октябре 2013 г.

### Антропологические исследования

В рамках завершаемого в 2013 году проекта РФФИ совместно с МГУ (НИИ и Музей антропологии им. Д.Н. Анучина) (№ проекта 12-06-00096/13) выполнен НАА волос представительной группы детей Онгудайского района республики Алтай, а также почв и растительности из мест их проживания, с целью установления возможных корреляций элементного состава и выявления эндемических особенностей влияния геохимической среды на организм человека.

### Биотехнологии

В сотрудничестве с биофизиками Института физики им. Э. Андроникашвили Грузинского государственного университета им. И.Джавахишвили и Университета им. И.Чавчавадзе в 2013 году продолжались исследования по разработке методов синтеза наночастиц золота и серебра некоторыми новыми штаммами бактерий-экстремофилов и сине-зеленой водорослью *Spirulina platensis*. В комплексе с рядом оптических и аналитических методов нейтронный активационный анализ использовался для разработки технологии синтеза наночастиц исследуемыми микроорганизмами. С целью оценки возможности применения полученных наноматериалов для медицинских и фармацевтических целей методом НАА на реакторе ИБР-2 исследовался элементный состав микробиальных образцов, содержащих наночастицы золота и серебра. Изучалось также влияние синтеза наночастиц на распределение матричных и следовых элементов в клетках.

Второе важное направление исследований развивается в области микробиотехнологии в сотрудничестве с Институтом биотехнологии и микробиологии АН Молдовы по извлечению цинка из сточных вод с использованием микроводоросли *Spirulina platensis*. Методом НАА на реакторе ИБР-2 был определен элементный состав микробиальных образцов и оценена эффективность накопления цинка и других металлов биомассой спирулины. Эта работа была отмечена золотой медалью на V Европейской Выставке Изобретений и Инноваций EUROINVENT 2013, Яссы, Румыния в категории «PhD research project». По материалам в области биотехнологий в октябре 2013 года защищена кандидатская диссертация.

### Материаловедение

В 2013 году в рамках совместного гранта РФФИ-Беларусь (ОИЯИ) с Научно-практическим центром НАНБ по материаловедению Национальной академии наук Беларуси продолжены исследования по изучению изменения характеристик синтеза нитридов в системе Li-N при различном давлении. К этой работе были привлечены специалисты по рентгеновской дифракции и сканирующей электронной микроскопии университета в Галаце, Румыния. Было показано, что увеличение давления азота в процессе формирования нитридов приводит к

## 1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

---

образованию структур с повышенным содержанием азота в объеме и с более мелким размером кристаллитов.

### Учебный процесс

На базе СНААПИ в 2013 году проводился Практикум для студентов старших курсов Университета «Дубна» и студентов и учителей Международных летних школ (май-июнь, июль и октябрь 2013 года), организуемых УНЦ ОИЯИ для слушателей III всероссийской летней учебно-полевой сессии Академического сообщества «Экос» совместно с Летней школой «Русского Репортёра» (<http://letnyayashkola.org/ecos>) (20 июля – 10 августа, 2013 года).

За отчетный период на базе сектора были выполнены две курсовых работы, четыре бакалаврских и две магистерских дипломных работы. В секторе выполняются пять кандидатских диссертаций.

## 1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 1.3. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РАЗРАБОТКИ И СОЗДАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СПЕКТРОМЕТРОВ ИБР-2

В 2013 г. работы по теме велись в нескольких направлениях, связанных с созданием и модернизацией оборудования, электронных систем сбора и накопления данных, а также информационно-вычислительной инфраструктуры комплекса спектрометров исследовательской ядерной установки (ИЯУ) ИБР-2.

#### Холодный замедлитель.

В январе 2013 г. в последнем и самом длительном цикле работы замедлителя на мощности реактора 2 МВт проводились исследования по программе пуска криогенного замедлителя КЗ-202. Всего за период пуска осуществлено шесть циклов работы КЗ со свежими загрузками шариков замороженной смеси мезитилена и *m*-ксилола; длительность циклов составляла от нескольких часов до 178 часов (наработка реактора до 350 МВт-часов). График циклов выглядел следующим образом:

9-11 июля 2012 г, мощность реактора до 0.4 МВт (дальнейшие циклы – до 2 МВт);

26- 28 сентября: 2,2 суток, 100 МВт-часов;

3-9 октября: 5,6 суток, 250 МВт-часов;

27 ноября - 4 декабря: 5,5 суток, 250 МВт-часов;

13-21 декабря: 6,7 суток, 305 МВт-часов (загрузка 1/3 камеры);

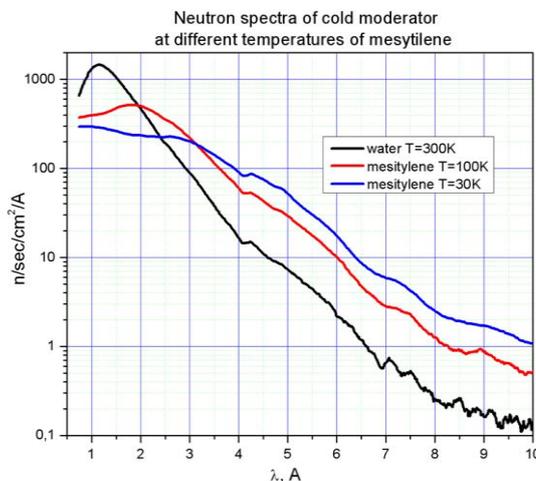
22-30 января 2013: 7,3 суток, 350 МВт-часов.

В третьем и четвертом квартале 2013 г. было проведено ещё три цикла работы ИБР-2 в режиме холодного замедлителя на физический эксперимент на пучках 7,8,10 и 11, продолжительностью непрерывной работы до 7.3 суток.

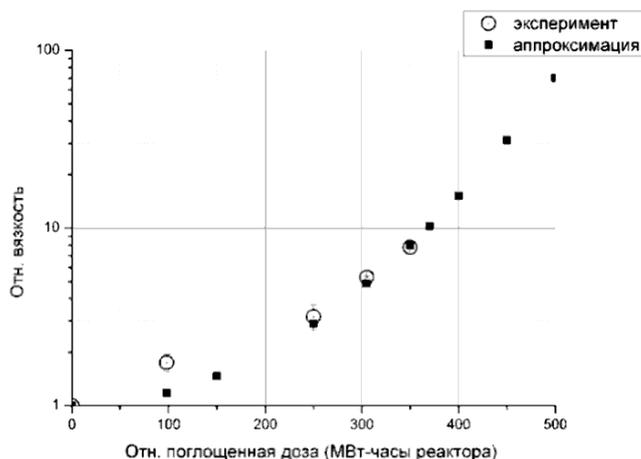
В результате анализа работы КЗ-202 в указанных циклах были получены однозначные ответы на основные вопросы, важные для обеспечения эффективной и длительной работы замедлителя:

- Время загрузки шариков в камеру замедлителя – минимум 4 часа (по проекту допускалось 8-10 часов). Загрузка проходит без заторов и без заметной дефрагментации шариков при расходе газа 1.2-1.5 г/сек и температуре 80-85 К.
- Гидравлическое сопротивление контура и параметры газодувки обеспечивают расход гелия 6 г/сек (по проекту 7 г/сек).
- Криорефрижератор КГУ-700/15 обеспечивает охлаждение шариков в камере КЗ-202 при мощности реактора 2 МВт до средней температуры 32 - 33 К (проектное значение – 23-25 К).
- Фактор увеличения потока холодных нейтронов с длиной волны 8-10 ангстрем – 13-14 (**Рис. 41**) расчетное значение – до 20 при 20 К. Деградация потока холодных нейтронов в области 6-10 ангстрем за 350 МВт-часов – не более 5-7 %; поток нейтронов с более короткой длиной волны увеличивается с дозой облучения.
- Слив отработанной жидкости проходит достаточно быстро; вязкость исходного раствора увеличивается не более чем в 10 раз после работы в течение 7.3 суток (**Рис. 42**).
- Заполнение камеры и последующий слив мезитилена на влияют на реактивность реактора ИБР-2.

## 1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ



**Рис. 41.** Дифференциальная плотность потока нейтронов в месте расположения детектора ПЧД для пустой камеры (черная линия) и для заполненной при температурах 100 К и 30 К.



**Рис. 42.** Изменение вязкости жидкой смеси в зависимости от дозы облучения.

В течение 2013 г. основные технологические системы криогенного замедлителя были доработаны и модернизированы. Во всех циклах работы ИЯУ ИБР-2 в режиме холодного замедлителя на физический эксперимент КЗ-202 продемонстрировал устойчивую и безаварийную работу. Система управления и контроля замедлителя дает возможность техническому персоналу во время работы контролировать основные параметры замедлителя (скорость вращения вала вентилятора (газодувки), расход и температура гелия, вакуум в трубопроводах, движение шариков при загрузке трубопровода). Характеристики контрольно-измерительных приборов КЗ-202 в целом удовлетворяют проектным требованиям и позволяют обеспечить работу и обслуживание замедлителя в штатном режиме. Подготовлены отчет о пуске КЗ-202 и комплект документации для сдачи установки в эксплуатацию.

Разработана программа и начаты эксперименты по облучению как отработанной жидкости, так и свежих жидких растворов мезитилена и *m*-ксилола с примесью ингибиторов радиолитического разложения ароматических углеводородов, в облучательном канале №3 ИЯУ ИБР-2. Уже первые опыты показали, что при добавлении ингибиторов продолжительность цикла может быть

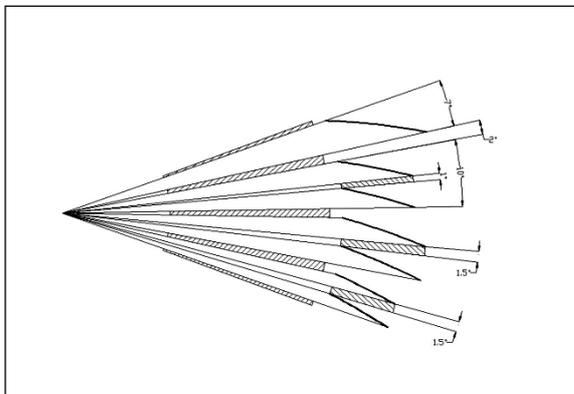
## 1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

увеличена до 9-9.5 суток на одной загрузке. Требуется подтверждение этих результатов для твердой фазы раствора. Эти исследования продолжаются в сотрудничестве с химическим факультетом МГУ.

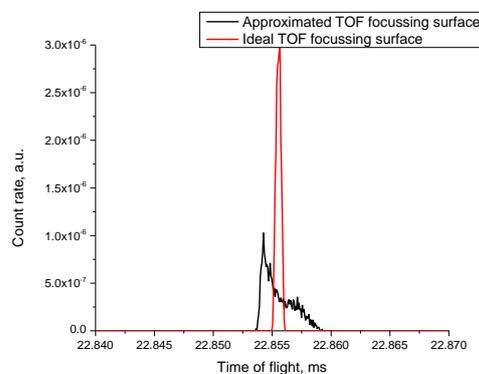
Начато проектирование холодного стенда для исследования загрузки, транспорта и выгрузки шариков на КЗ-201 – будущем холодном замедлителе на направлении пучков 4-6.

### Расчеты и моделирование спектрометров.

В 2013 г. продолжалось усовершенствование специальных VITNESS модулей, позволяющих моделировать и рассчитывать временную фокусировку нейтронов для времяпролетных спектрометров на импульсных источниках. При этом аппроксимация поверхности временной фокусировки возможна плоскостью/плоскостями, цилиндром/цилиндрами или сферой/сферами. Для спектрометра ФСД проведено моделирование детектора ASTRA (7 поверхностей, **Рис. 43**) с временной фокусировкой. Моделирование было выполнено для идеальной и аппроксимирующей (модификация цилиндрической поверхности) поверхностей временной фокусировки. Сравнение полученных результатов показывает практическое отсутствие сдвига в положении обоих дифракционных пиков. Однако наблюдается небольшое уширение дифракционного пика для аппроксимирующей поверхности. На **Рис. 44** показан пример моделирования 4-й поверхности временной фокусировки детектора ASTRA (углы покрытия 89.0-84.031 градусов; размер образца 0.1 мм × 0.1 мм; межплоскостное расстояние береговского рассеивателя  $d = 10 \text{ \AA}$ ). Все остальные поверхности детектора дают похожие результаты. Экспериментальная проверка показала, что предложенная аппроксимация поверхности временной фокусировки приемлема для практической реализации.



**Рис. 43.** Детектор ASTRA в горизонтальной плоскости.



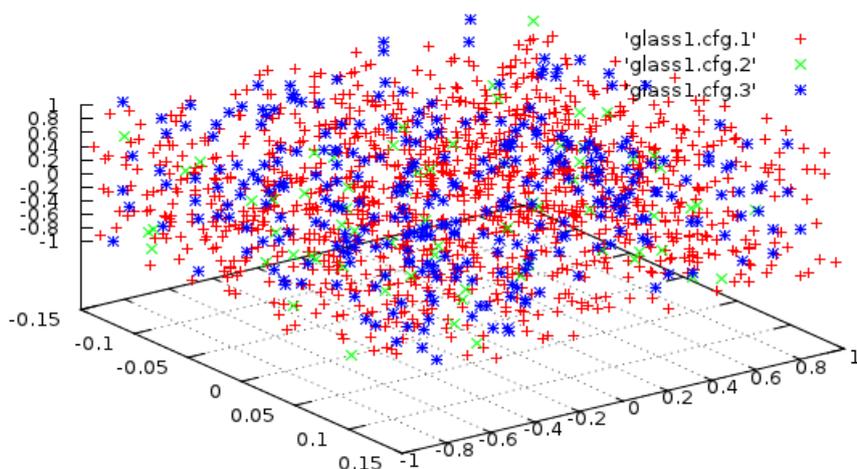
**Рис. 44.** Пример моделирования 4-й поверхности.

По программам VITNESS были проведены расчеты методом Монте Карло проекта нового нейтроновода для спектрометра РЕФЛЕКС с общей длиной около 30 м, шириной 1 см и высотой 8 см. Нейтроновод будет содержать изогнутую часть (около 16 м), что позволит уменьшить фон быстрых нейтронов и гамма квантов на образце, и прямолинейный участок, обеспечивающий равномерную засветку образца. Нейтроновод планируется покрыть изотопом никеля <sup>58</sup>Ni.

В середине 2013 г. начались работы по применению метода обратного Монте Карло (Reverse Monte Carlo) для восстановления трехмерной структуры стекол (или других разупорядоченных систем) на основе дифракционных данных нейтронного рассеяния. В расчетах использовалась программа RMC\_POT. Была также разработана специальная

## 1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

программа, позволяющая рассчитать координацию атомов стекла с помощью сетей Вороного. Эта программа читает данные, полученные программой RMC\_POT, и рассчитывает координационные числа. В частности, для трехэлементной системы FeYB рассчитывается девять координационных чисел. При необходимости в расчетах могут быть задействованы две опции, а именно: построение сети Вороного с учетом ионных радиусов частиц и отбрасывание частиц, для которых площадь поверхности Вороного меньше заданного уровня. Пример восстановленной трехмерной структуры из дифракционных данных для стекла FeYB программой RMC\_POT приведен на **Рис. 45**.



**Рис. 45.** Пример восстановленной структуры стекла FeYB (красным цветом показаны атомы железа, зеленым - иттрия, синим – бора).

### Разработка и изготовление оборудования для новых и модернизируемых спектрометров.

Продолжались работы по созданию на 13 канале ИЯУ ИБР-2 в ОИЯИ нового фурье-дифрактометра высокого разрешения, основанного на узлах спектрометра FSS (Fourier Stress Spectrometer), который длительное время использовался в исследовательском центре GKSS (Германия). В соответствии с заключенным договором с ПИЯФ оборудование спектрометра FSS в контейнерах перевезено в Дубну (**Рис. 46**). В настоящее время ведется проверка оборудования и конструкторская проработка его размещения и монтажа на 13 канале ИБР-2. На этом же канале создается инфраструктура для тестирования спектрометрического оборудования.



**Рис. 46.** Десять контейнеров с оборудованием спектрометра FSS.

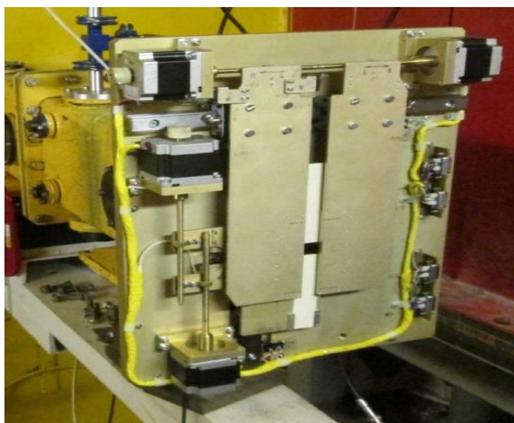
## 1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для дифрактометра RTD (ДН-2), предназначенного для исследований переходных процессов в реальном времени, разработан и изготовлен кольцевой гелиевый детектор обратного рассеяния вместе с 8-канальной аналоговой электроникой и многоканальной электроникой накопления данных (MPD). Детекторная система была настроена и протестирована на стенде, а затем установлена на пучке канала 6а ИБР-2 (**Рис. 47**), где проведен первый этап испытаний. После изготовления и монтажа фоновой защиты будут измерены физические характеристики детектора и осуществлен ввод в эксплуатацию в штатном режиме. Двухкоординатный позиционно-чувствительный детектор на RTD работает со встроенным в PC блоком электроники сбора и накопления данных De-Li-DAQ1. В ближайшее время он будет заменен на блок De-Li-DAQ2, выполненный в конструктиве NIM и обеспечивающий скорость регистрации до  $10^6$  соб/сек.



**Рис. 47.** Кольцевой гелиевый детектор обратного рассеяния на дифрактометре RTD

Разработана и изготовлена регулируемая диафрагма нейтронного пучка с линейным перемещением по горизонтальной и вертикальной осям и креплением на выходном фланце нейтронновода RTD (**Рис. 48**). Размер диафрагмы –  $20 \times 105$  мм<sup>2</sup>, используемый материал для поглощения нейтронов – пиролитический нитрид бора толщиной 1.1 мм. Для управления диафрагмой используются шаговые двигатели FL57STH51; четырехканальный блок управления двигателями подключен через CAN/USB преобразователь к управляющему компьютеру.



**Рис. 48.** Регулируемая диафрагма нейтронного пучка дифрактометра RTD.

Выполнена модернизация детекторной системы дифрактометра для исследования микрообразцов под высоким давлением ДН-12, состоящей из двух детекторных колец, каждое из

## 1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

которых включает в себя 16 газовых детекторов. Новые детекторы СНМ-31 установлены в коллиматорах и находятся в общем защитном кожухе. Каждый детектор имеет свой независимый выход, который присоединяется к отдельному входу предусилителя. Новая детекторная и управляющая электроника обеспечивает усиление и селекцию сигналов, а также управление от компьютера порогами регистрации и высоким напряжением на счетчиках. Сбор и накопление данных осуществляются 32-канальным электронным блоком МРД, разработанным в ЛНФ. Программное обеспечение ДН-12 аналогично ПО дифрактометра ДН-6.

Полностью заменена аналоговая электроника 2-х кольцевых 8-ми канальных детекторов спектрометра малоуглового рассеяния нейтронов ЮМО. Детекторы протестированы на стенде и введены в эксплуатацию. Внедрена новая система накопления данных на основе МРД-32.

### Модернизация систем окружения образца и систем управления на спектрометрах ИБР-2. Криогеника.

В настоящее время системы окружения образца и системы управления модернизированы на 10 спектрометрах из 13. Основными особенностями новых систем являются:

- построение всех систем по единой схеме;
- выполнение систем контроля и управления спектрометра в виде независимого модуля, подключенного к РС через интерфейс USB;
- вынос системы управления к образцу через оптический удлинитель USB;
- унификация основных элементов системы (датчиков, двигателей, контроллеров управления перемещением, температурных контроллеров и т.п.) и их интерфейсов;
- ориентация на использование промышленного оборудования.

В качестве примера на **Рис. 49** приведена структурная схема системы управления и контроля спектрометра ЮМО после модернизации.

По такой же схеме в 2013 г. была выполнена модернизация систем автоматизации для Фурье-дифрактометров: ФДВР (6 каналов управления) и ФСД (12 каналов), а также создана новая система для спектрометра ГРЕЙНС (26 каналов). У образца устанавливается 19-дюймовый крейт высотой 3U с контроллерами шаговых двигателей, число которых равно числу каналов управления. В таком же крейте у РС размещается адаптер USB-RS485 AC4 (фирмы ОВЕН), обеспечивающий связь РС с контроллерами шаговых двигателей. Каждый из контроллеров имеет свой адрес на линии RS485. Возможность одновременного движения шаговых двигателей задается управляющей программой и ограничена только мощностью соответствующего источника питания.

# 1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

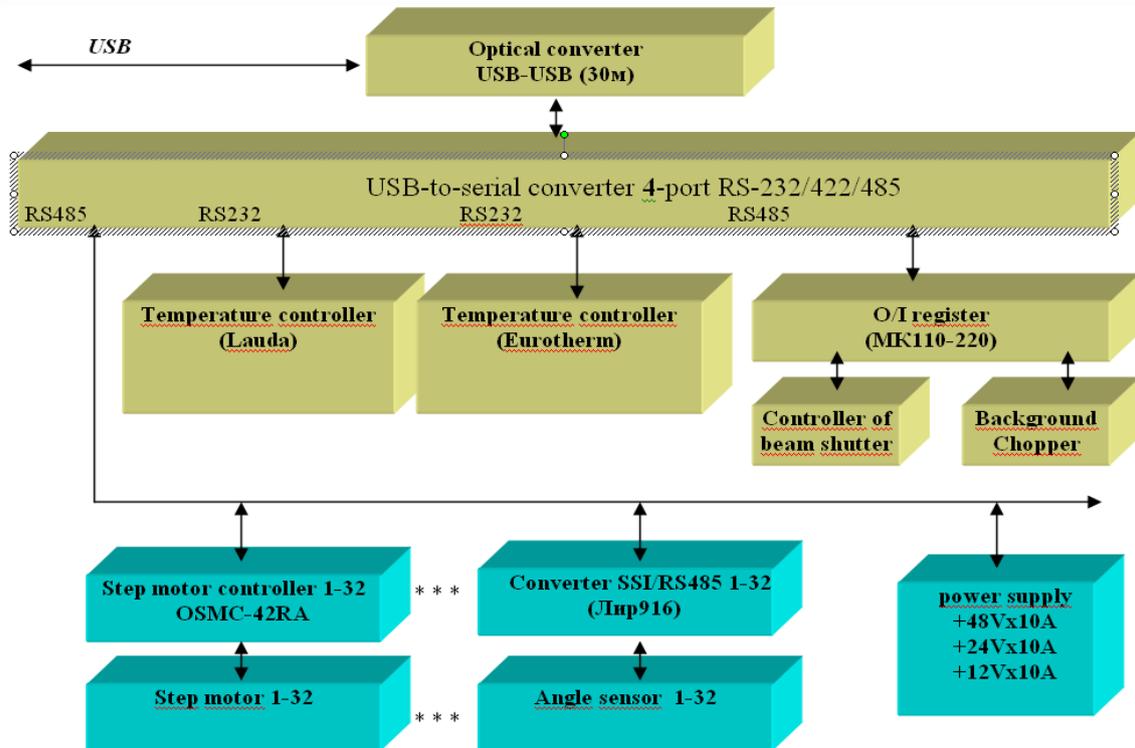


Рис. 49. Структурная схема системы управления и контроля спектрометра ЮМО.

Комплект устройств связи с объектом контролирует состояние шибера и прерывателя и управляет через контроллеры OSM-42RA-3U гониометрами и сканерами Huber (Рис. 50), диафрагмами, поляризаторами, коллиматорами и другими устройствами. Имеется возможность подключения до 8 таких устройств с интерфейсами RS 232/422/485.



Рис. 50. Гониометр и сканер Huber на дифрактометре ФСД.

В состав спектрометра ФДВР включено новое устройство смены образцов на 6 позиций.

## 1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Разработан, изготовлен и установлен на дифрактометр ДН-6 горизонтальный криостат для охлаждения камер высокого давления с образцом (Рис. 51). Получена минимальная температура 4 К на камере образца.



Рис. 51. Горизонтальный криостат для дифрактометра ДН-6.

Выполнены предварительные расчеты магнитной системы криостата со сверхпроводящим магнитом для работы в полях до 4 Тл и изменяемой температурой на образце в диапазоне 5-300 К. Проведены предварительные конструкторские работы. Криостат будет иметь загрузочную шахту для загрузки охлаждаемого держателя образца и может располагаться как в вертикальном, так и горизонтальном направлении. Конструкция криостата предусматривает его применение на дифрактометрах ДН12 и ФДВР. Работы выполняются совместно с ICPE-CA, Бухарест, Румыния.

На спектрометре НЕРА-ПР проводится модернизация шахтного криостата.

### Детекторы.

Разработан и создан тестовый сцинтилляционный детектор на основе ND-экрана со съёмом светового сигнала с помощью спектросмещающих волокон. Проведены исследования его характеристик на 9 пучке реактора ИБР-2, получен времяпролетный спектр нейтронов (Рис. 52).

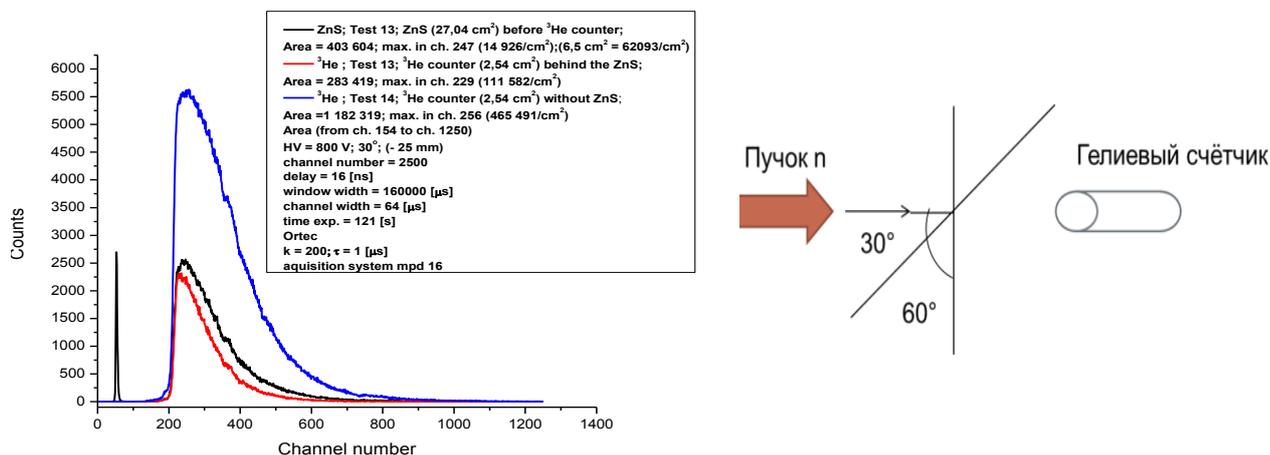


Рис. 52. Времяпролетный спектр тестового детектора с ND-экраном. Черным показан спектр с тестового детектора, синим — спектр счетчика СНМ-17, установленного перед детектором, красным — спектр с СНМ-17 сразу после детектора. Ширина временного канала равна 64 мкс. ND-детектор установлен под углом 30 градусов к пучку нейтронов.

Во 2-м квартале был изготовлен и протестирован на стенде с источником прототип сцинтилляционного счетчика детектора АСТРА для дифрактометра ФСД. Во время осенних

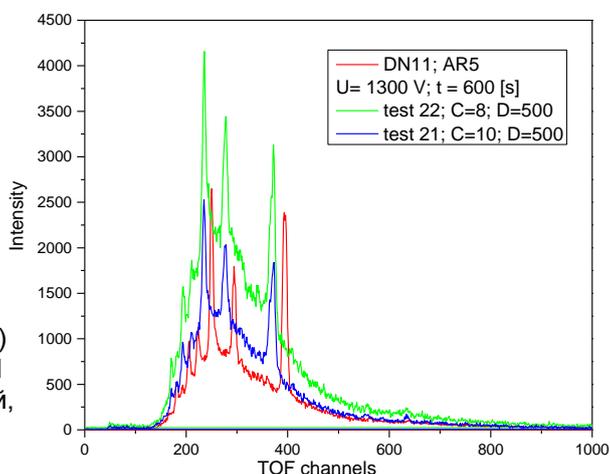
## 1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

циклов на ИБР-2 проведены сравнительные испытания “нового” и “старого” счетчиков (Рис. 53), показавшие хорошие результаты для TOF-спектров низкого разрешения (Рис. 54). Ведутся работы по изготовлению секции из четырех сцинтилляционных счетчиков детектора АСТРА.



Рис. 53. Новый счетчик во время сравнительных испытаний на детекторе «Астра».

Рис. 54. Общий вид TOF-спектров (низкое разрешение) для детекторов AstraR5 (красный, был включен только 1 элемент из 4-х) и нового ZnS элемента (синий, зеленый, сняты 2 спектра при разных порогах).



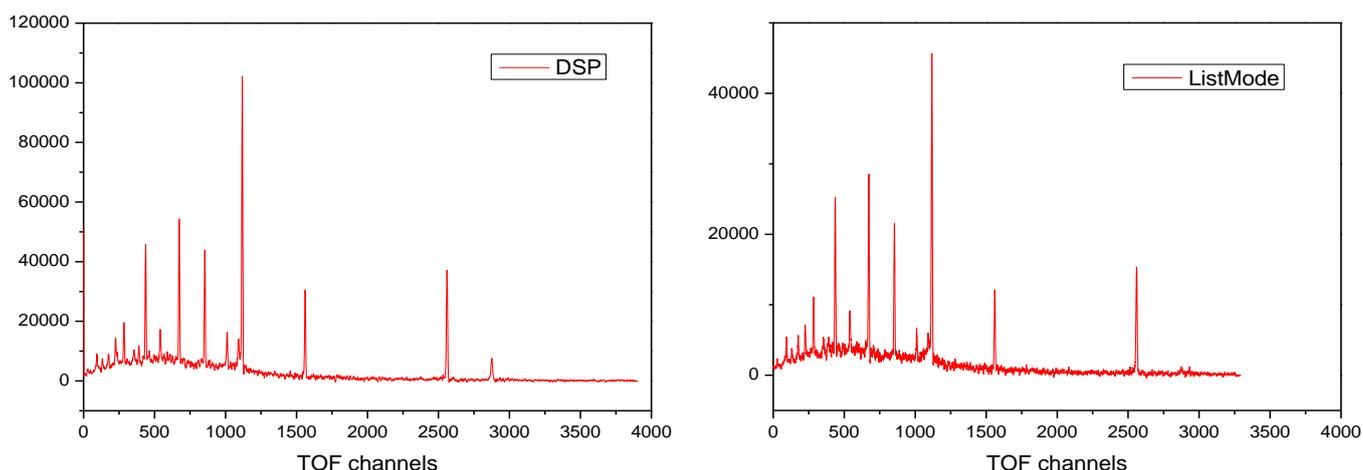
Проведены измерения профиля нейтронного пучка №10. Повторены измерения профилей пучков №7а-1, №7а-2, №7-б, после юстировки нейтронновода. Совместно с сотрудниками отдела НЭОФЯ проведены одновременные измерения профилей пучков №6а, №6б, №10, №11, №12 с помощью монитора тепловых нейтронов и оценка их интенсивности с помощью урановой камеры.

Изготовлен и установлен на спектрометре РЕФЛЕКС 2-D ПЧД с чувствительной областью 200x200 мм<sup>2</sup>. Разработана конструкторская документация на 2-D ПЧД для горизонтального канала №3 реактора ИР-8 в НИЦ «Курчатовский институт». Чертежи переданы в НПО «Атом» для изготовления корпуса и других механических узлов детектора. Ведутся работы по созданию нового двухкоординатного позиционно-чувствительного монитора тепловых нейтронов для измерения профилей пучков реактора ИБР-2. Техническое задание на монитор согласовано с заинтересованными отделами НЭОФЯ и НЭОНИКС ЛНФ.

## 1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

### Электроника систем сбора данных.

Изготовлены и настроены семь комплектов цифровых и аналоговых блоков MPD-32 для систем сбора и накопления данных со спектрометров ИБР-2. Из этих блоков были собраны и введены в эксплуатацию DAQ-системы на упомянутых ранее спектрометрах RTD, ЮМО, ДН-12, а также укомплектованы и находятся в стадии отладки системы на фурье-дифрактометрах ФСД и ФДВР. Для блоков MPD-16 и MPD-32 разработаны firmware программы для цифровой фильтрации входных сигналов со сцинтилляционных детекторов. Именно с этими блоками на спектрометре ФСД проводятся испытания «List Mode»-анализатора для накопления «сырых» данных в списочном режиме и отладка программ обработки данных для построения спектров высокого разрешения. Измерения проводятся параллельно на старой системе RTOF-анализаторов с двумя подключенными модулями 90° детектора ASTRA или детектора обратного рассеяния (BS) и на «List Mode»-анализаторе со всех модулей детекторов ASTRA и BS. На **Рис. 55** приведены спектры высокого разрешения, измеренные DSP и «List-mode»-анализаторами. Видно, что спектры идентичные, но есть различия в абсолютных значениях интенсивности и уровне фона. Причины этих различий выясняются в проводимых в настоящее время исследованиях.



**Рис. 55.** Спектры высокого разрешения, измеренные DSP и «List-mode»-анализаторами.

Изготовлен и налажен новый блок сбора и накопления данных De-Li-DAQ2 для одно- и двухкоординатных позиционно-чувствительных детекторов (**Рис. 56**) и заканчивается разработка его программного обеспечения. Блок имеет встроенную гистограммную память емкостью 1 Гбайт и высокоскоростной интерфейс с оптической линией связи с персональным компьютером. В блоке предусмотрены два режима работы: режим гистограммирования во внутренней памяти блока и списочный режим (list-mode), при котором исходные данные накапливаются непосредственно на диске PC. Реальная скорость регистрации (с учетом передачи и записи данных в PC) составляет не менее  $10^6$  соб./сек.



Рис. 56. Блок De-Li-DAQ2 для сбора и накопления данных с ПЧД.

Изготовлены и установлены на 6 спектрометрах разветвители стартов реактора ИБР-2 с оптической развязкой. Проводились также профилактические работы на спектрометрах ИБР-2, текущая модернизация и ремонт электронного оборудования.

**Программное обеспечение.**

В соответствии с планом в 2013 г. выполнены работы по установке разработанного в ЛНФ программного комплекса Sonix+ на спектрометрах ИБР-2: полностью на ДН-6, СКАТ, ДН-12; на RTD и ГРЕЙНС только для имеющегося в наличии оборудования (в дальнейшем комплекс будет расширяться по мере поступления новых устройств). На дифрактометре ФДВР из-за напряженной пользовательской программы работы по замене VME системы и установке Sonix+ выполняются в перерывах между измерениями, что, конечно, приводит к задержкам.

Развитие самого комплекса Sonix+ включало:

- разработку нового универсального пользовательского интерфейса (GUI) на основе PyQt и matplotlib (внедрено на спектрометрах ЮМО, НЕРА-ПР, СКАТ, РЕМУР), пример показан на Рис. 57;
- совершенствование библиотеки операций для рефлектометров (РЕМУР, РЕФЛЕКС, ГРЕЙНС);
- совершенствование программ визуализации (SpectraViewer) и юстировки (ICE) по запросам пользователей.

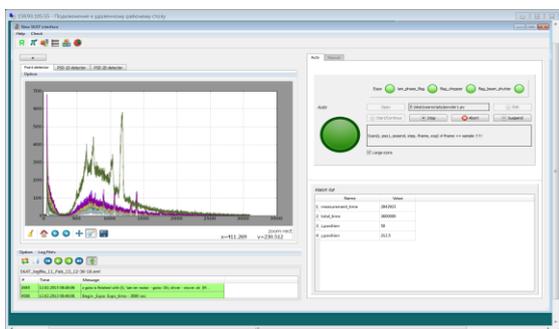


Рис. 57. Новый GUI на примере спектрометра СКАТ.

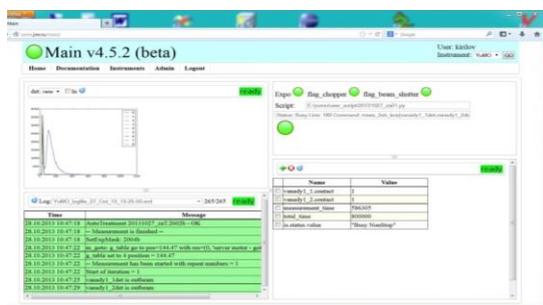


Рис. 58. Основная страница WebSonix на примере спектрометра ЮМО.

В течение года была подготовлена новая существенно улучшенная версия системы удаленного контроля параметров и управления спектрометрами (WebSonix), которая находится в опытной эксплуатации на спектрометрах СКАТ и ЮМО (Рис. 58).

## 1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

### Локальная вычислительная сеть.

За отчетный период сетевой службой ЛНФ был установлен и сконфигурирован файловый сервер (**Рис. 59**) на базе серверной платформы Supermicro DP SSG-6047R-E1R24N со следующими техническими характеристиками:

процессор – 2x Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2637 0 @ 3.00GHz;

оперативная память – 32 GByte;

жёсткие диски – 2x 500GByte и 24x 3 TByte.

В качестве операционной системы выбрана свободная в распространении FreeBSD 9.1, зарекомендовавшая себя в пользовательской среде как наиболее отказоустойчивая и производительная ОС. Важной её особенностью является поддержка файловой системы ZFS, которая обеспечивает реализацию программного RAID-массива на основе HBA адаптера. Данная файловая система является журналируемой и обладает технологией snapshots, обеспечивающей возможность фиксации мгновенного состояния процесса, что увеличивает вероятность восстановления потерянных данных. Файловая система сохраняет работоспособность при потере до 2-х дисков.

Дисковый массив реализован на 24-х дисках Hitachi HUA72303 на основе файловой системы ZFS. Его ёмкость составляет 58 TByte. Доступ к нему возможен с помощью таких протоколов как: **cifs**, **smb**, **nfs**, и **scp**. В настоящее время сервер находится в опытной эксплуатации.



**Рис. 59.** Новый файловый сервер.

Завершено создание сети WiFi в основных корпусах ЛНФ: 42, 42а, 117 (башня) и 119 (экспериментальные залы ИБР-2), 119. В качестве точек доступа используются D-link DW-360AP и Ubiquiti UniFi AP. На данный момент работает 21 беспроводная точка доступа к сети интернет.

### 2.1. ИМПУЛЬСНЫЙ РЕАКТОР ИБР-2

#### Информация о работе исследовательской ядерной установки ИБР-2

Эксплуатация исследовательской ядерной установки ИБР-2 осуществляется на основании лицензии Ростехнадзора № ГН-03-108-2614 от 27.04.2012 г.

В соответствии с условиями действия лицензии на эксплуатацию исследовательской ядерной установки ИБР-2 в течение года специализированными организациями совместно с персоналом установки выполнены плановые работы по оценке технического состояния и определению остаточного ресурса технологического оборудования установки. Завершены работы по продлению ресурса оборудования систем, важных для безопасности ИЯУ ИБР-2. Рассмотрев полученные результаты, комиссия, назначенная приказом по ОИЯИ, представила Заключение по каждой системе, для которой проводилась оценка остаточного ресурса, с рекомендациями по продлению ресурса и Решение о продлении ресурса. Подготовлены: Отчет «Результаты комплексного обследования систем и оборудования ИЯУ ИБР-2», «Программа управления ресурсом элементов и систем, важных для безопасности, зданий и сооружений ИЯУ ИБР-2. Регламент контроля их технического состояния». Актом от 16.09.2013 г., утвержденным главным инженером ОИЯИ, оборудование и элементы систем ИЯУ ИБР-2, важные для безопасности, для которых продлен срок эксплуатации, приняты для эксплуатации в течение дополнительного срока.

С 22.01. по 30.01.2013 г. проведен 1-й цикл работы ИЯУ ИБР-2 на физический эксперимент на мощности 2 МВт при работе КЗ-202 в режиме криогенного замедлителя. Цикл прошел без нарушения в работе установки ИБР-2.

С 11.02. по 22.02.2013 г. проведен 2-й цикл работы ИЯУ ИБР-2 на физический эксперимент на мощности 2 МВт при работе КЗ-202 в режиме водяного замедлителя. Цикл прошел без нарушения в работе установки ИБР-2.

С 18.03. по 29.03.2013 г. проведен 3-й цикл работы ИЯУ ИБР-2 на физический эксперимент на мощности 2 МВт при работе КЗ-202 в режиме водяного замедлителя. Цикл прошел без нарушения в работе установки ИБР-2.

С 09.04. по 20.04.2013 г. проведен 4-й цикл работы ИЯУ ИБР-2 на физический эксперимент на мощности 2 МВт при работе КЗ-202 в режиме водяного замедлителя. В течение цикла работы произошло одно срабатывание аварийной защиты из-за нарушения во внешнем электроснабжении, вызванном выходом из строя кабеля 10 кВ от ЦРП-5 до ТП-114 в электросетях города Дубна.

С 21.05. по 02.06.2013 г. проведен 5-й цикл работы ИЯУ ИБР-2 на физический эксперимент на мощности 2 МВт при работе КЗ-202 в режиме водяного замедлителя. В течение цикла работы произошло одно срабатывание аварийной защиты из-за нарушения во внешнем электроснабжении, вследствие посадки напряжения по линии 110 кВ «Юрьево-Темпы-1», вызванной грозой.

С 13.09.2013 по 19.09.2013 г. проведена догрузка одной свежей ТВС в активную зону реактора ИБР-2М и вывод реактора на критичность в стационарном режиме работы с оценкой эффективности догруженной ТВС и оценкой интегральной эффективности органов регулирования СУЗ. Проведен контрольный вывод реактора на мощность  $W=250$  кВт с оценкой эффективности догруженной ТВС на импульсной критичности.

С 23.09. по 04.10.2013 г. проведен 6-й цикл работы ИЯУ ИБР-2 на физический эксперимент на мощности 2 МВт при работе КЗ-202 в режиме водяного замедлителя. Цикл прошел без нарушения в работе установки ИБР-2.

С 14.10. по 22.10.2013 г. проведен 7-й цикл работы ИЯУ ИБР-2 на физический эксперимент на мощности 2 МВт при работе КЗ-202 в режиме водяного замедлителя.

## 2. ИСТОЧНИКИ НЕЙТРОНОВ

С 24.10. по 01.11.2013 г. проведен 8-й цикл работы ИЯУ ИБР-2 на физический эксперимент на мощности 2 МВт при работе КЗ-202 в режиме криогенного замедлителя. 29.10.2013 г.

С 11.11. по 18.11.2013 г. проведен 9-й цикл работы ИЯУ ИБР-2 на физический эксперимент на мощности 2 МВт при работе КЗ-202 в режиме водяного замедлителя. В течение цикла работы произошло одно срабатывание аварийной защиты из-за отказа узла преобразования сигналов ППН-138Р блока стабилизации оборотов модулятора реактивности ПО-3, приведшее к отключению блока питания электромагнитной порошоковой муфты и останову ПО-3.

В 10-м цикле с 21.11. по 23.11.2013 г. ИЯУ ИБР-2 отработала на мощности 2 МВт на физический эксперимент при работе КЗ-202 в режиме криогенного замедлителя. 23.11.2013 г. была произведена внеплановая остановка реактора в связи с течью в водяной магистрали системы обратного водоснабжения.

В 2013 г. завершена поставка НПО «Доза» оборудования для системы СРК ИБР-2 и начаты работы по монтажу и наладке системы.

Подготовлен и направлен на рассмотрение в Ростехнадзор комплект документов на получение лицензии на право эксплуатации исследовательской ядерной установки ИБР-2.

В таблице представлены данные по работе ИЯУ ИБР-2 на физический эксперимент в 2013 г. по состоянию на 25.11.2013 г.

**Таб. 1.** Данные по работе ИЯУ ИБР-2 на физический эксперимент

№ цикла	Период	Замедлитель	Время работы реактора на физический эксперимент, час
1	22.01-30.01	криогенный	176
2	11.02-22.02	водяной	260
3	18.03-29.03	криогенный	264
4	09.04-20.04	водяной	242
5	21.05-02.06	водяной	281
6	23.09-04.10	водяной	262
7	14.10-22.10	водяной	169
8	24.10-01.11	криогенный	174
9	11.11-18.11	водяной	170
10	21.11-23.11	криогенный	44
11	29.11-13.12	водяной	330
12	17.12-26.12	криогенный	206
<b>ИТОГО:</b>			<b>2578</b>

### Информация о работах, выполненных по проекту «Комплекс криогенных замедлителей ИЯУ ИБР-2»

В соответствии с «Программой пуска криогенного замедлителя КЗ 202» в 2013 году было проведено 2 цикла работы КЗ 202 в режиме криогенного замедлителя. В период 19-28 декабря 2013г. планируется ещё один цикл на физический эксперимент в режиме криогенного замедлителя КЗ 202.

На 25.11. 2013 г. общее время наработки криогенной установки КГУ 700/15 за 2013 год составило 530 часов. Максимальная продолжительность работы КГУ без перерыва составила 214 часов.

Основные работы, выполненные в рамках темы 1105 «Развитие исследовательской ядерной установки ИБР-2 с комплексом криогенных замедлителей нейтронов»:

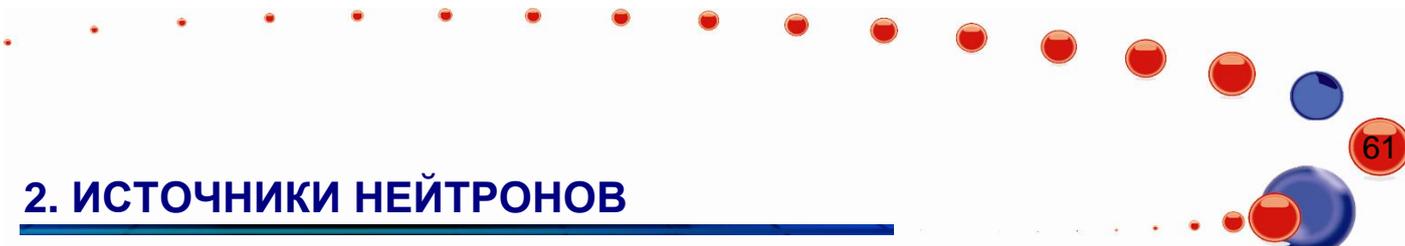
- Подготовлен контракт на покупку криогенной машины Linde AG 1200W 10K.
- По чертежам переданным фирмой «Linde» выполнен эскизный проект размещения оборудования установи с привязкой к помещениям криогенного участка ИБР-2.
- Подготовлен проект размещения компрессора «Kaeser» DSD 238 ( входящего в состав установки) в пом. 126. (Разработаны чертежи установки пола на отметке 0 в помещении 126).
- Разработан рабочий проект станда КЗ 201 на канале № 3 (49.01.00.00)
- Чертежи узлов и сборок станда КЗ 201 (49.01.00.00) переданы в ООЭП ЛНФ на изготовление.
- Произведена подготовка криостата по чертежам KB6640.00. для установки на канале № 3. Подготовлен отчет о пуске КЗ-202 и комплект документации для сдачи КЗ-202 в эксплуатацию

### 2.2. УСТАНОВКА ИРЕН

В 2013 г. в ЛНФ работы по направлению нейтронной ядерной физики велись в традиционных направлениях, таких как: изучение процессов нарушения пространственной и временной четности при взаимодействии нейтронов с ядрами; изучение процесса деления; экспериментальное и теоретическое исследование фундаментальных свойств нейтрона; гамма-спектроскопия нейтронно-ядерных взаимодействий; эксперименты с ультрахолодными нейтронами. Большая часть фундаментальных исследований была проведена с использованием импульсного источника резонансных нейтронов ИРЕН. Установка ИРЕН работала в 2013 г. на физических экспериментах приблизительно 1050 часов.

### 2.3. УСКОРИТЕЛЬ ЭГ-5

В 2013 году ускоритель ЭГ-5 проработал на различные эксперименты 656 часов. Исследования глубинных профилей элементов с помощью ядерно-физических аналитических методик RBS ( метод Резерфордского обратного рассеяния) и ERD (метод ядер отдачи) проводились совместно с представителями различных институтов стран-участниц ОИЯИ. В экспериментах принимали участие сотрудники ЛЯР (Реутов В.Ф., Дидык А.Ю.), сотрудник ЛЯП (Быстрицкий В.М.), сотрудник ВГУ (Вахтель В.М.), сотрудница ТПУ (Сохорева В.В.), сотрудники UMCS (Мончка Д., Кулик М.), сотрудники ИЕЕ SAS (Гуран Ё., Махайдик Д.). Были проанализированы образцы различного элементного состава и различных технологий приготовления в том числе, в частности, были исследованы глубинные профили элементов в образцах нанокристаллических пленок карбида кремния, приготовленных с помощью



## 2. ИСТОЧНИКИ НЕЙТРОНОВ

---

технологии PECVD (плазмохимическое осаждение из газовой фазы). Выполнено исследование электрических и оптических характеристик пленок в зависимости от их элементного состава.

Глубинные профили водорода и дейтерия были также исследованы с помощью ядерно-физические аналитических методик RBS и ERD в образцах, приготовленных для исследования ядерной реакции  $d(d, \gamma)^3\text{He}$  при низких энергиях.

## ОПУБЛИКОВАННЫЕ СТАТЬИ

## ОТДЕЛ НЕЙТРОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД

## Атомная и магнитная структура (дифракция)

1. А.М. Балагуров, И.А. Бобриков, М.С. Машенко, Д. Сангаа, В.Г. Симкин "Структурный фазовый переход в шпинели  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$ ", Кристаллография, 2013, т. 58 (5), с. 696-703.
2. А.М. Balagurov, I.A. Bobrikov, J. Grabis, D. Jakovlevs, A. Kuzmin, M. Maiorov, N. Mironova-Ulmane, "Neutron scattering study of structural and magnetic size effects in NiO", IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2013, принята к опубликованию.
3. И.А. Бобриков, А.М. Балагуров, Исследование Li-ионных аккумуляторов в реальном времени с помощью нейтронной дифракции, Новости ОИЯИ, 3, 19 (2013).
4. E.Burzo, P.Vlaic, D.P.Kozlenko, S.E.Kichanov, N.T. Dang, E.V.Lukin, B.N.Savenko "Magnetic properties of  $\text{TbCo}_2$  compound at high pressure", 2013, v. 551, p. 702-710.
5. E. Burzo, P. Vlaic, D.P. Kozlenko, S.E. Kichanov, N.T. Dang, A.V. Rutkauskas, B.N. Savenko "Magnetic properties, electronic structures and pressure effects of  $\text{Ho}_2\text{Y}_{1-x}\text{Co}_2$  compounds" Journal of Alloys and Compounds, 2014, v. 584, p. 393-401.
6. Н.Т. Данг, Д.П. Козленко, С.Е. Кичанов, Л.С.Дубровинский, Z.Jirák, Д.М. Левин, Е.В.Лукин, Б.Н. Савенко «Структурные и магнитные фазовые переходы в манганите  $\text{Pr}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$  при высоком давлении», Письма в ЖЭТФ, 2013, т. 97, № 9, с. 624 – 629.
7. Н.Т. Данг, Д.М. Левин, Д.П. Козленко, С.Е. Кичанов, Б.Н. Савенко «Структурные и магнитные фазовые переходы при высоких давлениях в манганитах  $\text{Pr}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ », Известия ТулГУ, Серия Естественные науки, 2013, в. 2, ч. 1, с.185-196.
8. С.Е.Демьянов, Н.А.Каланда, Л.В.Ковалев, М.В.Авдеев, М.Л.Желудкевич, V.M.Haramus, R.Willumeit, Формирование диэлектрических барьеров в ферромолибдате стронция и туннельный магниторезистивный эффект, Письма в Журнал Технической Физики, 2013, т. 39, №. 12, с. 25-34.
9. D.V. Karpinsky, I.O. Troyanchuk, V. Sikolenko, V. Efimov and A.L. Kholkin "Electromechanical and magnetic properties of  $\text{BiFeO}_3\text{-LaFeO}_3\text{-CaTiO}_3$  ceramics near the rhombohedral-orthorhombic phase boundary", J. Appl. Phys., 2013, v. 113, p. 187218.
10. D.V. Karpinsky, I.O. Troyanchuk, L.S. Lobanovsky, A.N. Chobot, C. Ritter, V. Efimov, V. Sikolenko, A.L. Kholkin, "Magnetic and structural phase transitions in  $\text{La}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{CoO}_3$ -d ( $0 < d < 0.3$ ) cobaltites", J. Phys.: Condens. Matter, 2013, v. 25, p. 316004.
11. D.V. Karpinsky, I.O. Troyanchuk, M. Tovar, V. Sikolenko, V. Efimov, A.L. Kholkin "Evolution of crystal structure and ferroic properties of La-doped  $\text{BiFeO}_3$  ceramics near the rhombohedral-orthorhombic phase boundary", J. Alloys. Compd., 2013, v. 555, p. 101.
12. V.A. Khomchenko, I.O. Troyanchuk, V. Sikolenko, J.A. Paixao, "Weak ferromagnetic polar phase in the  $\text{BiFe}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$ ", Journal of Materials Science, 2013, 1-5.
13. V.A. Khomchenko, I.O. Troyanchuk, D.M. Többens, V. Sikolenko, J.A. Paixão, "Composition- and temperature-driven structural transitions in  $\text{Bi}_{1-x}\text{Ca}_x\text{FeO}_3$  multiferroics: A neutron diffraction study" J. Phys.: Condens. Matter, 2013, v. 25, p. 135902.
14. D. P. Kozlenko, S. E. Kichanov, E. V. Lukin, N. T. Dang, A. I. Smirnov, E.A.Bykova, L. S. Dubrovinsky, K. V. Kamenev, H.-P.Liermann, W. Morgenroth, and B. N. Savenko «High pressure effects on the crystal structure, magnetic and vibrational properties of multiferroic  $\text{RbFe}(\text{MoO}_4)_2$ » Phys. Rev. B, 2013, v. 87, 014112 (6 pp).
15. D. P. Kozlenko, N. T. Dang, S. H. Jabarov, A. A. Belik, S. E. Kichanov, E. V. Lukin, C. Lathe, L. S. Dubrovinsky, V. Yu. Kazimirov, M. B. Smirnov, B. N. Savenko, A. I. Mammadov, E. Takayama-Muromachi and L.H. Khiem «Structural polymorphism in multiferroic  $\text{BiMnO}_3$  at high pressures and temperatures», Journal of Alloys and Compounds, 2013, accepted manuscript.
16. D.P. Kozlenko, N.T. Dang, S.E. Kichanov, E.V. Lukin, K. Knizek, Z. Jirák, L.S. Dubrovinsky, V.I. Voronin, B.N. Savenko "Pressure-induced structural transformations, orbital order and antiferromagnetism in  $\text{La}_{0.75}\text{Ca}_{0.25}\text{MnO}_3$ " Eur. Phys. J. B, 2013, v. 86, p. 360.
17. O. L. Makarova, J. Bourgeois, M. Poienaar, I. Mirebeau, S. E. Kichanov, G. André, E. Elkaim, M. Hanfland, M. Hervieu, A. Maignan, J. Haines, J. Rouquette, C. Martin and F. Damay "Pressure effect on the magnetic order of  $\text{LuFe}_2\text{O}_4$ " Appl. Phys. Lett., 103, 082907 (2013).
18. Р.З. Мехдиева, Е.В. Лукин, С.Е. Кичанов, Д.П. Козленко, С.Г. Джабаров, Т.Н. Данг, А.И. Мамедов, Б.Н. Савенко "Исследование структурных аспектов фазового перехода антисегнетоэлектрик – параэлектрик в двойном перовските  $\text{Pb}_2\text{MgWO}_6$  при высоких давлениях и температурах" принято в журнал Физика твердого тела (2013).
19. Sikolenko V., Efimov V.V., D. Többens, S. Schorr, C. Ritter, M.V. Bushinsky, I.O.Troyanchuk Pressure effects on oxygen-deficit Ba-substituted cobaltites. Powder diffraction, October 2013.
20. Troyanchuk, I.O., M.V.Bushinsky, L.S.Lobanovsky, A.M.Balagurov, V.Sikolenko, V.Efimov, D.V.Sheptyakov, Very large magnetoresistance and spin state transition in Ba-doped cobaltites J. Appl. Phys. 113 (2013), 053909.
21. I.O. Troyanchuk, M.V. Bushinsky, A.V. Nikitin, L.S. Lobanovsky, A.M. Balagurov, V. Sikolenko, V. Efimov, D.V. Sheptyakov "Very large magnetoresistance and spin state transition in Ba-doped cobaltites" J. Appl. Phys. 2013, v.113, p. 053909 (8 pages).
22. A. Yaouanc, P. Dalmas, De Réotier, P. Bonville, J.A. Hodges, V. Glazkov, L. Keller, V. Sikolenko, M. Bartkowiak, A. Amato, C. Baines, P.J.C. King, P.C.M. Gubbens, "A Forget Dynamical splayed ferromagnetic ground state in the quantum spin ice  $\text{Yb}_2\text{Sn}_2\text{O}_7$ ", Phys. Rev. Lett., 2013, v. 110, p. 127207.

## Наноструктурированные материалы (малоугловое рассеяние и дифракция)

23. E.B. Dokukin, R.V. Erhan, A.Kh. Islamov, M.E. Dokukin, N.S. Perov, E.A. Gan'shina, Formation of the magnetic fractal structure in  $\text{CoSiO}_2$  granular nanocomposite system at percolation threshold, Physica Status Solidi b, 2013, v. 250, p. 1656-1662.
24. С.Е. Кичанов, Е.В. Фролова, Г.П. Шевченко, Д.П. Козленко, А.В.Белушкин, Е.В. Лукин, Г.Е.Малашкевич, С.К. Рахманов, В.П.Глазков, Б.Н. Савенко « Исследование структурных особенностей кристаллофосфора  $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}_3+/\text{Lu}_2\text{O}_3$  при его

### 3. ПУБЛИКАЦИИ

- формировании коллоидно-химическим методом»
25. С.Е. Кичанов, А.Х. Исламов, С.А. Самойленко, Самойленко, Д.П. Козленко, А.В. Белушкин, В.С.Гурин, Г.П. Шевченко, Е.Е. Трусова, Л.А. Булавин, Б.Н.Савенко "Исследование особенностей структуры оксидных нанокластеров церия и титана в силикатном стекле методом малоуглового рассеяния нейтронов", «Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования», 2014, принято в печать.
  26. S. E. Kichanov, G. P. Shevchenko, E. V. Tretyak, D. P. Kozlenko, G. E. Malashkevich, A. V. Belushkin, and B. N. Savenko "The structural and luminescent properties of Lu<sub>3</sub>Al<sub>5</sub>O<sub>12</sub>:Ce<sup>3+</sup>+Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> crystal phosphors prepared by colloid chemical synthesis", 2013, submitted to Materials Research Bulletin.
- «Мягкая материя», жидкости (малоугловое рассеяние и дифракция)**
27. E. M. Anitas, A. Yu. Cherny, V. A. Osipov, and A. I. Kuklin, "Small-angle scattering from three-phase systems: Investigation of the crossover between mass fractal regimes", Journal of Physics: conference series, 2013.
  28. M.V. Avdeev "Particle interaction in polydisperse magnetic fluids: Experimental aspects of small-angle neutron scattering applications", Journal of Molecular Liquids, 2013, in press.
  29. М.В. Авдеев, Аксенов В.Л., Булавин Л.А., Томчук А.В., "Малоугловое рассеяние на дисперсных системах с диффузной границей раздела фаз", Труды конференции. XVII научная конференция молодых ученых и специалистов к 100-летию В.П. Дзжелепова (ОМУС-2013), 2013, с. 254-259.
  30. M.V. Avdeev, V.L.Aksenov, Z.Gazova, L.Almasy, V.I.Petrenko, H.Gojzewski, A.V.Feoktystov, K.Siposova, A.Antosova, M.Timko, P.Kopcansky, "On the determination of the helical structure parameters of amyloid protofilaments by small-angle neutron scattering and atomic-force microscopy", Journal of Applied Crystallography, 2013, v. 46, p. 224-233.
  31. M.V. Avdeev, Aksenov V.L., Tomchuk O.V., Bulavin L.A., Garamus V.M., Osawa E., "The spatial diamond-graphite transition in detonation nanodiamond as revealed by small-angle neutron scattering", Journal of Physics: Condensed Matter, 2013, v. 25, p. 445001 (7pp).
  32. M. Balasoiu, A. I. Kuklin, G.M. Arzumanian, T.N. Murugova, S.V.Stolyar, R.S.Iskhakov, L.A.Ishchenko, Yu.L. Raikher, "Biogenic nanoparticles produced by bacteria Klebsiella oxytoca: structure investigations". In book: Modern trends in nanoscience, pp. 179-196. Editura Academiei Romane, Bucharest, 2013. The Publishing House of Romanian Academy, 2013 ISBN 978-973-27-2230-5.
  33. A.Yu.Cherny et al. Small-angle neutron scattering from deterministic fractal systems. In book: Modern trends in nanoscience, pp. 59-76. Editura Academiei Romane, Bucharest, 2013. The Publishing House of Romanian Academy, 2013 ISBN 978-973-27-2230-5.
  34. Л.А. Булавин, А.В. Нагорный, В.И. Петренко, М.В. Авдеев, Л. Алмаши, Л. Рошта, В.Л. Аксенов "Нейтронні дослідження структури неполярних магнітних рідинних систем з надлишком поверхнево-активних речовин", Український фізичний журнал (2013), принята к публикации.
  35. И.В. Гапон, В.И.Петренко, М.В.Авдеев, Л.А.Булавин, Ю.Н.Хайдуков, О.Солтведель, В.Зависова, П.Копчански, "Учет диффузного рассеяния при анализе зеркального отражения нейтронов на границе раздела магнитная жидкость-кремний", Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования (2013), принята в печать.
  36. Р.А.Еремин, Х.Т.Холмуродов, В.И.Петренко, М.В.Авдеев, "Расчет объемных свойств декалинов и жирных кислот в декалине по данным молекулярно-динамического моделирования", Журнал Физической Химии, 2013, т. 87(5), с. 759-765. (R.A.Eremin, Kh.T.Kholmurodov, V.I.Petrenko, M.V.Avdeev. Calculating the bulk properties of decalins and fatty acids in decalin according to data from molecular dynamics simulation. Russian Journal of Physical Chemistry A, 2013, v. 87(5), p. 745-751.
  37. R.A.Eremin, Kh.Kholmurodov, V.I.Petrenko, L.Rosta, M.V.Avdeev, "Effect of the solute-solvent interface on small-angle neutron scattering from organic solutions of short alkyl chain molecules as revealed by molecular dynamics simulation", J. Appl. Cryst., 2013, v. 46(2), p. 372-378.
  38. Р.А.Еремин, Х.Т.Холмуродов, В.И.Петренко, М.В.Авдеев, "Молекулярно-динамическое моделирование взаимодействия растворитель-растворенное вещество в неполярных растворах олеиновой кислоты", Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 2013, № 12, с. 15-20. (R.A.Eremin, Kh.T.Kholmurodov, V.I.Petrenko, M.V.Avdeev. Solute-solvent interaction in nonpolar solutions of oleic acid as revealed by molecular dynamics simulation. Journal of Surface Investigation. X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques, 2013, in press.)
  39. Р.А.Еремин, Х.Т.Холмуродов, В.И.Петренко, Л.Роста, М.В.Авдеев, "Анализ малоуглового рассеяния нейтронов раствором стеариновой кислоты в бензоле с использованием молекулярно-динамического моделирования", Физика Твёрдого Тела, 2013, в печати. (R.A.Eremin, Kh.Kholmurodov, V.I.Petrenko, L.Rosta, M.V.Avdeev. Analysis of SANS data from stearic acid solution in benzene using molecular dynamic simulation. Physics of the Solid State, 2013, in press.)
  40. Н.Жаргалан, Т.В.Тропин, М.В.Авдеев, В.Л.Аксенов, "Исследование кинетики растворения фуллерена C<sub>60</sub> в толуоле, бензоле и N-метилпирролидоне методом УФ-Вид спектроскопии", Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 2013, принята в печать.
  41. G. E. Iacobescu, M. Balasoiu, I. Bica. "Investigation of magnetorheological elastomer surface properties by atomic force microscopy", Journal of Superconductivity and Novel Magnetism, 2013, v. 26, p. 785-792.
  42. А.А.Казначеевская (Томчук), Кизима О.А., Булавин Л.А., Томчук А.В., Гарамус В.М., Авдеев М.В., "Реорганизация кластерного состояния в растворе C<sub>60</sub>/N-метилпирролидон/вода: сравнительная характеристика данных динамического светорассеяния и малоуглового рассеяния нейтронов", Поверхность. Рентген. Синхротрон. Нейтрон. Исслед., 2013, № 12, с. 21-24
  43. О.А. Кызьма, Т.О. Кырей, М.В. Avdeev, M.V. Korobov, L.A. Bulavin, V.L. Aksenov, Non-reversible solvatochromism in N-methyl-2-pyrrolidone/toluene mixed solutions of fullerene C<sub>60</sub>, Chem. Phys. Lett. 556 (2013) 178-181.  
Е.А.Кизима, Томчук А.А., Булавин Л.А., Петренко В.И., Алмаши Л., Коробов М.В., Волков Д.С., Кошлянь И.В., Кошлянь Н.А., Блаха П., Авдеев М.В., "Структура и

- токсичность водных растворов фуллерена C<sub>60</sub>”, *Поверхность. Рентген. Синхротрон. Нейтрон. Исслед.*, 2013, принята в печать.
44. Т.Н.Муругова, Иванов О., Осина Н.К., Исламов А.Х., Куклин А.И., Агладзе К.И., “Исследования мицеллообразования азобензентриметиламмоний бромидом методом малоуглового рассеяния нейтронов”, 2013, *Труды МФТИ*, т. 5, № 1, с. 122-128.
  45. А.В.Нагорный, Л.А.Булавин, В.И.Петренко, М.В.Авдеев, В.Л.Аксенов. “Чутливість методу малокутового розсіяння нейтронів при визначенні структурних параметрів магнітних рідинних систем з низькою концентрацією магнетиту”, *Український фізичний журнал*, 2013, т. 58(8), с. 736-742. (A.V.Nagorny, L.A.Bulavin, V.I.Petrenko, M.V.Avdeev, V.L.Aksenov. Sensitivity of small-angle neutron scattering method at determining the structural parameters in magnetic fluids with low magnetite concentrations. *Ukr. J. Phys.*, 2013, v. 58(8), p. 735-741.)
  46. Nagorny A.V. Sensitivity of Small-Angle Neutron Scattering Method at Determining the Structural Parameters in Magnetic Fluids with Low Magnetite Concentrations/A.V. Nagorny, L.A. Bulavin, V.I. Petrenko, M.V. Avdeev, V.L. Aksenov// *Ukr. J. Phys.* 2013, Vol. 58.N 8. p. 735-741.
  47. А.В.Нагорный, В.И.Петренко, М.В.Авдеев, Л.А.Булавин, Л.Рошта, В.Л.Аксенов, “Об определении структурных параметров полидисперсных магнитных жидкостей по данным малоуглового рассеяния нейтронов”, *Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования*, 2013, №2, с.3-8. (A.V. Nagorny, V.I.Petrenko, M.V.Avdeev, L.A.Bulavin, L.Rosta, V.L.Aksenov. On determination of structural parameters of polydisperse magnetic fluids by small-angle neutron scattering. *Journal of Surface Investigation. X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques*, 2013, v.7(1), p.99-104).
  48. А.В.Нагорный, В.И.Петренко, Л.А.Булавин, М.В.Авдеев, Л.Алмасы, Л.Роста, В.Л.Аксенов, “Структура магнитной жидкости магнетит-олеиновая кислота-декалин с избытком кислоты по данным малоуглового рассеяния нейтронов”, *Физика Твёрдого Тела*, 2013, в печати. (A.V.Nagorny, V.I.Petrenko, L.A.Bulavin, M.V.Avdeev, L.Almasy, L.Rosta, V.L.Aksenov. Structure of magnetite/oleic acid/decalin magnetic fluids with surfactant excess by small-angle neutron scattering data. *Physics of the Solid State*, 2013, in press.)
  49. В.И.Петренко, М.В.Авдеев, V.M.Garamus, M.Kubovcikova, Z.Gazova, K.Siposova, Л.А.Булавин, L.Almasy, В.Л.Аксенов, P.Kopcansky, “Структура амилоидных протофиламентов лизоцима по данным малоуглового рассеяния рентгеновских лучей”, *Физика Твёрдого Тела*, 2013 в печати. (V.I.Petrenko, M.V.Avdeev, V.M.Garamus, M.Kubovcikova, Z.Gazova, K.Siposova, L.A.Bulavin, L.Almasy, V.L.Aksenov, P.Kopcansky. Structure of lysozyme amyloid protofilament by SAXS. *Physics of the Solid State*, 2013, in press.)
  50. В.И.Петренко, М.В.Авдеев, Р.Турку, А.Нан, Л.Векаш, В.Л.Аксенов, Л.Рошта, Л.А.Булавин, “Структура порошков магнитных наночастиц с полимерным покрытием на основе замещенных пирролов по данным малоуглового рассеяния нейтронов”, *Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования*, 2013, № 1, с. 9-13. (V.I.Petrenko, M.V.Avdeev, R.Turcu, A.Nan, L.Vekas, V.L.Aksenov, L.Rosta, L.A.Bulavin. Powder structure of magnetic nanoparticles with substituted pyrrole copolymer shells according to small-angle neutron scattering. *Journal of Surface Investigation. X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques*, 2013, v. 7(1), p. 5-9.)
  51. V.I. Petrenko, L.A.Bulavin, M.V.Avdeev, V.M.Garamus, M.Koneracka, P.Kopcansky, “Structure and interaction of poly(ethylene glycol) in aqueous solutions. Small-angle neutron scattering data” *Macromolecular Symposia*, 2013, accepted.
  52. J.W.P.Schmelzer, T.V.Tropin, “Dependence of the width of the glass transition interval on cooling and heating rates”, *J. Chem. Phys.*, 2013, v. 138, p. 034507/11.
  53. Т.В.Тропин, N.Jargalan, М.В.Авдеев, О.А.Кизима, D.Sangaa, В.Л.Аксенов, “Расчет функций распределения кластеров по размерам и данных малоуглового рассеяния нейтронов для раствора C60/N-метилпирролидон”, *Физика твердого тела*, 2013, в печати. (T.V. Tropin, N. Jargalan, M.V. Avdeev, O.A. Kyzyma, D. Sangaa, V.L. Aksenov, “The calculation of cluster size distribution functions and SANS data for C60/NMP solution”, *Physics of Solid State*, 2013, in press);
  54. Т.В.Тропин, Т.А. Кирей, Е.А. Кизима, А.В. Феоктистов, М.В. Авдеев, Л.А. Булавин, Л. Рошта, В.Л. Аксенов, “Исследование смешанных растворов C60/NMP/Толуол методами УФ-Вид спектроскопии и малоуглового рассеяния нейтронов”, *Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования*, 2013, № 1, с. 5-8 (Т.В. Тропин, Т.О. Кюрей, О.А. Кызума, А.В. Феоктистов, М.В. Авдеев, Л.А. Булавин, Л. Роста, В.Л. Аксенов, “Experimental Investigation of C60/NMP/Toluene Solutions by UV-Vis Spectroscopy and Small-Angle Neutron Scattering”, *Journal of Surface Investigation. X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques*, v. 7, No. 1, pp. 1-4, 2013);

#### Тонкие пленки (рефлектометрия и поляризованные нейтроны)

55. Yu.N. Khaidukov, D. Nagy, J.-H. Kim, T. Keller, A. Ruhm, Yu.V. Nikitenko, K.N. Zhernenkov, J. Stahn, L.F. Kiss, A. Csik, L. Botlyan, V.L. Aksenov, “On the Feasibility to Study Inverse Proximity Effect in a Single S/F Bilayer by Polarized Neutron Reflectometry”, *JETP Letters*, 2013, v. 98, No.2, p. 107-110.
56. С.В. Кожевников, F. Ott, J. Torrejón, M. Vázquez, A. Thiaville, “Применение поляризованного микропучка нейтронов для исследования магнитной микроструктуры”, *Физика твёрдого тела*, 2014, т.56, с.63-67.
57. S. Kozhevnikov, T. Keller, Yu. Khaydukov, F. Ott, A. Rühm, J. Major, “Polarizing Fe-Co-Fe planar waveguides for the production of neutron microbeams”, *Physics Procedia*, 2013, v.42, p. 80-88.
58. A.Rühm, S.V. Kozhevnikov, F. Ott, F. Radu, J. Major, “Magnetic planar waveguides as combined polarizers and spin-flippers for neutron microbeams”, *Nucl. Instrum. and Meth. A*, 2013, v. 708, p. 83-87.
59. S.V. Kozhevnikov, V.K. Ignatovich, F. Ott, A. Rühm, J. Major, “Experimental determination of the neutron channeling length in a planar waveguide”, *JETP*, 2013, v. 144, p. 733-738.
60. М.В.Рябухина, Е.А. Кравцов, Д.В.Благodatkov, Л.И. Наумова, Ю.В.Никитенко, В.В.Проглядо, В.В.Устинов, Ю.Н. Хайдуков, “Магнетизм сверхрешеток Fe/Cr/Gd”, *Поверхность*, 2013, принята в печать.
61. T. Veres, L. Cser, V. Bodnarchuck, V. Ignatovich, Z.E. Horváth, B. Nagy, Investigation of periodic Ni-Ti multilayers, *Thin Solid Films* 540 (2013) 69–72.

### 3. ПУБЛИКАЦИИ

#### Атомная и магнитная динамика (неупругое нейтронное рассеяние)

62. G. Bator, L. Sobczyk, W. Sawka-Dobrowolska, J. Wuttke, A. Pawlukoјc, E. Grech, J. Nowicka-Scheibe; "Structural, spectroscopic and theoretical studies on 3,4,7,8-tetramethyl-1,10-phenantroline complex with picric acid", *Chemical Physics*, 2013, v. 410, p. 55-65.
63. Н.М. Благовещенский, А.Г. Новиков, В.В. Савостин. «Самодиффузия в жидких литии и свинце из данных по когерентному квазиупругому рассеянию нейтронов», *ФТТ*, 2014, т. 56, №1, с. 122-125.
64. Н.М. Благовещенский, А.Г. Новиков, Н.Н. Рожкова. «Анализ квазиупругого рассеяния нейтронов концентрированной водной дисперсией наноалмазов», *ФТТ*, 2014, т. 56, №1, с. 116-118.
65. K. Druzbicki, E. Mikuli, S. Zalewski, M. D. Ossowska-Chruściel, J. Chruściel, S. Wróbel, J. Czerwiec; "Complementary Studies of Mesomorphic Properties in a Novel Antiferroelectric Liquid Crystalline Thiobenzoate" *Spectrochimica Acta Part A*, 2013, v. 105, p. 424.
66. О.А. Дубовский, А.В. Орлов, "Генерация зародышей фаз ондуляторными солитонами нового типа при мартенситных фазовых переходах в кристаллических материалах", *ФТТ*, 2013, т. 55, № 8, с. 1590-1600.
67. О.А. Дубовский, А.В. Орлов, "Перспективы нейтронной спектроскопии генерируемых ультразвуком и гиперзвуком связанных мультифононных солитонов и бисолитонов нового типа", *ФТТ*, 2014, т.56, № 1, с.45-49.
68. О.А. Дубовский, В.А. Семенов, А.В. Орлов, "Солитонная и мультифононная микродинамика теплопроводности плутония и урана в области температур мартенситных фазовых переходов", *ФТТ*, 2014, т. 56, № 1, с.31-35.
69. И.В. Калинин, Е.Кац, М.Коза, В.В.Лаутер, Х.Лаутер, А.В.Пучков, "Нейтроннография поликристаллического 4He в пористой среде", *Письма в ЖЭТФ*, 2013, т. 98, № 4, с. 261.
70. И.В. Калинин, В.М. Морозов, А.Г. Новиков, А.В. Пучков, В.В. Савостин, В.В. Сударев, А.П. Булкин, С.И. Калинин, В.М. Пусенков, В.А. Ульянов, "Характеристики спектрометра ДИН-2ПИ с нейтронным концентратором", *ЖТФ*, 2014, т. 84, № 2, с. 155-158.
71. Ю.В. Лисичкин, Л.А. Сахарова, А.А. Туманов, "Динамика молекулы воды, адсорбированной кремнеземом и смолой SGK-7", *ФТТ*, 2014, т. 56, № 1, с.99-106.
72. K. Łuczynska-Szymczak, W. Starosta, K. Druzbicki; "Solid-State DFT-Assisted Raman Study of Titanate Nanostructures" *Spectrochimica Acta Part A*, 2013, v. 116, p. 646.
73. D. M. Novak, L. S. Smirnov, A. I. Kolesnikov, V. I. Voronin, I. F. Berger, N. M. Laptash, A. D. Vasil'ev, I. N. Flerov; "Refinement of the Crystal Structure of the High-Temperature Phase G0 in (NH4)2WO2F4 (Powder, X-Ray, and Neutron Scattering)", *Crystallography Reports*, 2013, v. 58, No. 1, p. 129-134.
74. А.Г. Новиков. «Топология и водородная связанность в сверхкритической воде», *ФТТ*, 2014, т. 56, № 1, с.119-121.
75. R. V. Pisarev, K. N. Boldyrev, M. N. Popova, A. N. Smirnov, V. Yu. Davydov, L. N. Bezmaternykh, M. B. Smirnov, V. Yu. Kazimirov; "Lattice dynamics of piezoelectric copper metaborate CuB2O4." *Phys. Rev. B*, 2013, v. 88, p. 024301.
76. V.A. Ozeryanskii, A.F. Pozharskii, A. Filarowski, G.S. Borodkin; "Extreme Magnetic Separation of Geminal Protons in Protonated N,N,N'-Trimethyl-1,8-diaminonaphthalene. A Puzzle of the Fourth Methyl Group", *Organic Letters*, 2013, v. 15 (9), p. 2194-2197 DOI: 10.1021/ol400746u.
77. J. Panek, A. Filarowski, A. Jezierska-Mazzarello; "Impact of proton transfer phenomena on the electronic structure of model Schiff bases: An AIM/NBO/ELF study", *Journal of Chemical Physics*, 2013, v. 139, p. 154312; DOI: 10.1063/1.4825098.
78. В.А. Семенов, О.А. Дубовский, А.В. Орлов, Д.В. Савостин, В.В. Сударев, "Спектр частот вольфрама при температурах 293 и 2400 K", *ФТТ*, 2014, т. 56, № 1, с.36-40.
79. M. B. Smirnov, V. Yu. Kazimirov, R. Baddour-Hadjean, J.-P. Pereira-Ramos, K. S. Smirnov; "Atomistic mechanism of alpha-beta phase transition in vanadium pentoxide", *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 2013, in press, available on-line.
80. L. Sobczyk, A. Pawlukoјc, E. Grech, A. Huczynski, B. Brzezinski; "Extremely different structures and vibrational spectra of tetramethylpyrazine nitrate dehydrate in solid and solutions", *J. Mol. Structure*, 2013, v. 1037, p. 264-270.
81. L. Sobczyk, M. Obrzud, A. Filarowski; "H/D Isotope Effects in Hydrogen Bonded Systems", *Molecules*, 2013, v. 18(4), p. 4467-4476, DOI: 10.3390/molecules18044467.
82. Filarowski, P.E. Hansen; "Secondary Isotope Effects on C-13 and N-15 Chemical Shifts of Schiff Bases Revisited" *Zeitschrift fur Physikalische Chemie – International Journal of Research in Physical Chemistry & Chemical*, 2013, v. 227, p. 917-927. DOI: 10.1524/zpch.2013.0378.
83. K. Filipczak, J. Karolczak, P. Lipkowski, A. Filarowski, M. Ziolk; "Photochromic cycle of 2'-hydroxyacetophenone azine studied by absorption and emission spectroscopy in different solvents", *Journal of Chemical Physics*, 2013, v. 139, p. 104305. DOI: 10.1063/1.4820136.
84. Ł. Hetmańczyk, N. Górka, J. Hetmańczyk, E. Mikuli, I. Natkaniec; "Phase transitions in [Co(NH3)6](ClO4)3 investigated by neutron scattering methods", *Chemical Physics*, 2013, v. 412, p. 1-6; <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemphys.2012.10.020>.
85. Ł. Hetmańczyk, J. Hetmańczyk, E. Mikuli, A. Migdał-Mikuli, W. Nitek, K. Holderna-Natkaniec, I. Natkaniec; "Crystal structure of two [Ba(H2O)3](ClO4)2 phases and H2O ligands reorientational motions studied by X-ray single crystal, inelastic and quasielastic incoherent neutron scattering and proton magnetic resonance", *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 2013, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpcs.2013.07.007>.
86. J. Hetmańczyk, Ł. Hetmańczyk, A. Migdał-Mikuli, E. Mikuli; "Vibrational and reorientational motions of H2O ligands, phase transition and thermal properties of [Sr(H2O)6]Cl2", *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 2013, v. 115, p. 504-510; <http://dx.doi.org/10.1016/j.saa.2013.06.069>.
87. Г.Д. Бокучава, И.В. Папушкин, В.В. Сумин, Д. Азнабаев, Б. Мухаметулы, Д.В. Шепяков, А.М. Балагуров, "Микродеформации в сталях с дисперсионным упрочнением", *Письма в ЭЧАЯ*, 2013, т.10, № 2 (179), с. 245-252. G.D. Bokuchava, I.V. Papushkin, V.V. Sumin, D. Aznabayev, B. Muhametuly, A.M. Balagurov, "Microstrain in dispersion-hardened steels", *Particles and Nuclei Letters*, 2013, v. 10, Nr. 2 (179), pp. 245-252.
88. G.D. Bokuchava, I.V. Papushkin, V.V. Sumin, P.I. Petrov, "Investigation of residual stress arising due to electron

#### Прикладные исследования (текстура, напряжения, геологические материалы)

87. Г.Д. Бокучава, И.В. Папушкин, В.В. Сумин, Д. Азнабаев, Б. Мухаметулы, Д.В. Шепяков, А.М. Балагуров, "Микродеформации в сталях с дисперсионным упрочнением", *Письма в ЭЧАЯ*, 2013, т.10, № 2 (179), с. 245-252. G.D. Bokuchava, I.V. Papushkin, V.V. Sumin, D. Aznabayev, B. Muhametuly, A.M. Balagurov, "Microstrain in dispersion-hardened steels", *Particles and Nuclei Letters*, 2013, v. 10, Nr. 2 (179), pp. 245-252.
88. G.D. Bokuchava, I.V. Papushkin, V.V. Sumin, P.I. Petrov, "Investigation of residual stress arising due to electron

- beam welding process in the reconstructed Charpy specimens”, Nuclear Engineering and Design, 2014 (submitted).
89. Gizo Bokuchava, Igor Papushkin, Andrew Venter, Peter Petrov, “Residual stress studies in electron and laser beam welding using neutron diffraction”, Journal of Material Science and Technology, 2014 (submitted).
90. V. Luzin, D. Nikolayev, & S. Siegesmund, “Temperature Induced Internal Stress in Marble”, Trans Tech Publications, Mat. Sci. Forum, 2013, in press.
91. И.В. Папушкин, Г.Д. Бокучава, В.В. Сумин, А.М. Балагуров, Д.В. Шептяков, “Изучение микродеформации в сталях, вызванной дисперсионным упрочнением”, Физика твердого тела, 2014, т. 56, вып. 1, стр.165-169.
92. Ch. Scheffzuek, K. Ullemeyer, R. Vasin, R. Naumann, & F.R. Schilling, “Strain and Texture Investigations by Means of Neutron Time-of-Flight Diffraction: Application to Polyphase Gneisses”, Trans Tech Publications, Mat. Sci. Forum, 2013, in press.
93. Yury Taran, Anatoly Balagurov, Basar Sabirov, Vadim Davydov, Andrew Venter “Neutron Diffraction Investigation of Residual Stresses Induced in Niobium-Steel Bilayer Pipe Manufactured by Explosive Welding” Material Science Forum, 2014, v. 768-769, pp. 697-704 (in print).

### Инструменты и методы

94. A.Belushkin, A. Bogdzal, A. Buzdavin, A. Zhuravlev, V. Zhuravlev, D. Kozlenko, S. Kulikov, A. Kirilov, F. Levchanovski, V. Milkov, Ts. Panteleev & V. Prikhodko “Multi-Section Ring-Shaped Detector for Thermal Neutrons” Neutron News, 2013, v. 24, № 3, p. 28-29.
95. S. Manoshin, A. Rubtsov, V. Bodnarchuk, S. Mattauch, A. Ioffe, “Extension of the VITESS polarized neutron suite towards the use of imported magnetic field distributions”, Journal of Neutron Research, 2013, DOI 10.3233/JNR-130002.
96. В. М. Милков, Ц. Ц. Пантелеев, А. А. Богдзель, А. В. Белушкин, А. П. Бuzdavin, Ст. И. Велешки, В.В. Журавлев, С. Е. Кичанов, Д.П. Козленко, С. А. Куликов, Ф. В. Левчановский, Е. В. Лукин, С.М. Мурашкевич, В. И. Приходько, Б.Н. Савенко «Многосекционный кольцевой детектор тепловых нейтронов для исследования дифракции на микрообразцах в аксиальной геометрии», Письма в ЭЧАЯ, 2013, т. 10, № 5, с. 436–441.

### ОТДЕЛ КОМПЛЕКСА СПЕКТРОМЕТРОВ ИБР-2

97. V. D. Anan'ev, A. A. Belyakov, A. A. Bogdzal', M.V. Bulavin, A. E. Verkhoglyadov, E. N. Kulagin, S. A. Kulikov, A. A. Kustov, A. A. Lyubimtsev, K. A. Mukhin, T. B. Petukhova, A. P. Sirotin, A. N. Fedorov, E. P. Shabalin, D. E. Shabalin, and V. K. Shirokov, A test setup for the bead cryogenic neutron moderator of the IBR-2 reactor. Instruments and Experimental Techniques, ISSN 0020-4412, Vol. 56, No. 1, pp. 116–122., 2013.
98. A. Belushkin, A. Bogdzal, A. Buzdavin, A. Zhuravlev, V. Zhuravlev, D. Kozlenko, S. Kulikov, A. Kirilov, F. Levchanovski, V. Milkov, Ts. Panteleev & V. Prikhodko (2013) “Multi-Section Ring-Shaped Detector for Thermal Neutrons”, Neutron News, 24:3, 28-29, DOI: 10.1080/10448632.2013.804365.
99. A.V. Belushkin, A.A. Bogdzal', A.P. Buzdavin, S.I. Veleshki, A.I. Zhuravlev, V.V. Zhuravlev, S.E. Kichanov, D.P. Kozlenko, S.A. Kulikov, F.V. Levchanovskii, E.V. Lukin, V.M. Milkov, S.M. Murashkevich, Ts.Ts. Panteleev, V.I. Prikhod'ko, B.N. Savenko, L.T. Tsankov “A Multisectional Annular Thermal Neutron Detector for the Study of Diffraction on Microsamples in Axial Geometry” ISSN 1547\_4771, Physics of Particles and Nuclei Letters, 2013, Vol. 10, No. 5, pp. 436–441.
100. А.А.Богдзель, С.Велешки, А.И.Журавлев, В.В.Журавлев, Ф.В.Левчановский, А.С.Кирилов, М.В.Михин, Т.Б.Петухова, С.М.Мурашкевич, В.И.Приходько, А.П.Сиротин, А.И.Калюканов, Л.Е.Фыкин “Система автоматизации экспериментов, проводимых на нейтронном порошковом дифрактометре” Приборы и техника эксперимента, ISSN:0032-8162, eISSN:0020-4412, Изд:МАИК Наука Интерпериодика, 2013, №2, с. 49-53
101. А.А. Bogdzal, S. Veleshki, A.I. Zhuravlev, V.V. Zhuravlev, 106. С.А. Куликов, Е.П.Шабалин. Оптимизация замедлителей ИБР-2. Атомная энергия, ISSN: 0004- F.V. Levchanovskii, A.S. Kirilov, M.V. Mikhin, T.B. Petukhova, S.M. Murashkevich, V.I. Prikhod'ko, A.P. Sirotin, A.I. Kalyukanov, L.E. Fykin, 2013, published in Pribory i Tekhnika Eksperimenta, 2013, No. 1, pp. 49–53. ISSN 0020\_4412, Instruments and Experimental Techniques, 2013, Vol. 56, No. 2, pp. 165–169. © Pleiades Publishing, Ltd., 2013).
102. S. Kulikov, A. Beliakov, M. Bulavin, K. Mukhin, E. Shabalin, A. Verhoglyadov. Current status of advanced pelletized cold moderator development for IBR-2M research reactor. Письма в ЭЧАЯ, 2013. Т.10, №2 (179), с.230-235.
103. E. Shabalin, S. Kulikov, M. Bulavin, A. Verhoglyadov. The World's First Pelletized Cold Neutron Moderator Began its Operation. Neutron News, Volume 24, Issue 3, 2013
104. Ананьев В.Д., Беляков А.А., Булавин М.В., Верхоглыдов А.Е., Кулагин Е.Н., Куликов С.А., Кустов А.А., Любимцев А.А., Мухин К.А., Петухова Т.Б., Сиротин А.П., Федоров А.Н., Шабалин Е.П., Шабалин Д.Е., Широков В.К. Первый в мире шариковый холодный замедлитель нейтронов (The World's First Pelletized Cold Neutron Moderator). Сообщение ОИЯИ, (Направлено в журнал NIM-B).
105. А.Б.Рубцов, С.А.Маношин, В.И.Боднарчук, Р.В.Ерхан, С.В.Григорьев. Оценка влияния рассеянных магнитных полей на поляризацию пучка тепловых нейтронов при прохождении системы электромагнит – камера нулевого поля методом Монте – Карло, отправлено в журнал “Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования”/ «Journal of Surface Investigation, Synchrotron and Neutron Techniques”, апрель 2013.
- 7163, т. 115, №7, стр. 41-44, 2013.

### Патенты

107. Патент на изобретение № 2496165 «КРИОГЕННЫЙ ДОЗАТОР ШАРИКОВ ДЛЯ ХОЛОДНОГО ЗАМЕДЛИТЕЛЯ НЕЙТРОНОВ». Куликов С.А., Федоров А.Н., Шабалин Е.П.
108. Патент на изобретение №2487430 «ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЙ СПОСОБ РЕГИСТРАЦИИ ШАРИКОВ, ДВИЖУЩИХСЯ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ТРУБЕ» Петухова Т. Б., Широков В.К., Шабалин Е.П.

### 3. ПУБЛИКАЦИИ

109. Патент на изобретение №2492538 «ШАРИКОВЫЙ ХОЛОДНЫЙ ЗАМЕДЛИТЕЛЬ НЕЙТРОНОВ». Ананьев В.Д., Беляков А.А., Булавин М.В., Верхоглядов А.Е., Кулагин Е.Н., Куликов С.А., Кустов А.А., Мухин К.А., Шабалин Е.П., Шабалин Д.Е.

#### ОТДЕЛЕНИЕ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

##### Экспериментальные работы.

110. Ahmadov F., Abdinov O., Ahmadov G. et.,al Alpha particle detector based on micro pixel avalanche photodiodes. *Functional materials*, Vol.20, No.3, p.390-392. 2013.
111. Ahmadov A., Ahmadov G., Madatov R., Sadygov Z., Shvetsov V., Tiutiunnikov S., Kopach Yu., Zhezher V., Silicon micro-pixels avalanche photodiodes and scintillation detectors, In: XX International Seminar on Interaction of Neutrons with Nuclei, Dubna, May 2012, E3-2013-22, Dubna, 2013, p. 205
112. Artiushenko M., Voronko V., Husak K. et. al., Study of the spatial and energy distributions of neutrons in the massive uranium target irradiated by deuterons with energy of 1, 4, 8 GeV //Problems of atomic science and technology. № 6. Series: Nuclear Physics Investigations (88),2013.p.170-174.
113. Borzakov S. B., Gundorin N. A., Pokotilovskii Yu. N., Experimental search for the singlet meta-stable deuteron in the radiative n-p capture", ArXiv:nucl-ex: 1308.1783, 2013.
114. Borzakov S.B., "Calculation of Effective Resonance Integrals", ISINN-20, Alushta, Ukraine, May 21-26, 2012, Proc., Dubna, 2013, p. 315-320.
115. Bystritsky V.M., Kobzev A.P., Krylov A.R., Parzhitskii S.S., Philippov A.V., Dudkin G.N., Nechaev B.A., Padalko V.N., Penkov F.M., Tuleushev Yu.Zh., Filipowicz M., Bystritskii Vit.M., Gazi S., Huran J. Measuring the Astrophysical S Factors and Cross Sections of the d(p, $\gamma$ )<sup>3</sup>He Reactions in the Ultralow Energy Region Using a Zirconium Deuteride Target. *Physics of Particles and Nuclei Letters*, 2013, Vol. 10, No. 7, pp. 1 – 6.
116. Frank A.I., Geltenbort P., Goryunov S.V., Jentschel M., Kulin G.V., Kustov D.V., Strepetov A.N.. New UCN experiment for test of the equivalence principle for free neutron. ISINN-20. Proceedings, E3-2013-22 (2013) 18;
117. Jovancevic N., Sukhovoij A. M., Furman W. I., Khitrov V. A. Main properties and local peculiarities of radiative strength functions in neutron resonance cascade gamma-decay, XX International Seminar on Interaction of Neutrons with Nuclei, Dubna, May 2012, E3-2013-22, Dubna, 2013, pp. 157-164.
118. Jovancevic N., Sukhovoij A. M., Khitrov V. A. The most probable mean values of level density and radiative strength function of <sup>28</sup>Al compound-state cascade gamma-decay. XX International Seminar on Interaction of Neutrons with Nuclei, Dubna, May 2012, E3-2013-22, Dubna, 2013, pp. 148-156.
119. Khuukhenkhuu G., Gledenov Yu. M., Sedysheva M. V., Odsuren M., Munkhsaikhan J., Delgersaikhan T., «Statistical Model Analysis of (n, $\alpha$ ) Reaction Cross Sections for Fast Neutrons», Proceedengs of the XX
120. Saunders A., Makela M., Bagdasarova Y., Back H. O., Boissevain J., Broussard L. J., Bowles T. J., Carr R., Currie S. A., Filippone B., Garcia A., Geltenbort P., Hickerson K. P., Hill R. E., Hoagland J., Hoedl S., Holley A. T., Hogan G., Ito T. M., Lamoreaux Steve, Liu Chen-Yu, Liu J., Mammei, J. Martin R. R., Melconian D., Mendenhall M. P., Morris C. L., Mortensen R. N., Pattie R. W., Pitt Jr., M., Plaster B., Ramsey J., Rios R., Sallaska A., Seestrom S. J., Sharapov E. I., Sjuje S., Sondheim W. E., Teasdale W., Young A. R., VornDick
120. Kozhevnikov S. V., Ignatovich, F. Ott, A. Rühm, and J. Major. Experimental determination of the channeling length in a planar neutron waveguide, ЖЭТФ, 2013, т. 144, №4, стр. 733-738 (Journal of Experimental and Theoretical Physics, 2013, Volume 117, issue 4, pp. 636–640)
121. Kulin G.V., Strepetov A.N., Frank A.I., Geltenbort P., Goryunov S.V., Jentschel M., Kustov D.V. New Experiment for the Test of the Dispersion Law for very Slow Neutron. ISINN-20. Proceedings, E3-2013-22 (2013) 24;
122. Kuznetov V. L., Kuznetsova E. V., Sedyshev P. V., Shvetsov V. N., Churakov A. N.. Investigation of possibilities for the measurement of parity violation in neutron diffraction at the IBR-2M reactor. ISINN-20 (Dubna: JINR, 2013) 66-69.
123. Lychagin E. V., Muzychka A. Yu., Nesvizhevsky V. V. "Nano-Structured Reflectors for Slow Neutrons" in New Developments in Low-Energy Physics Research Editors: Tao Zoeng and Meng Ngai NOVA Publishers 2013
124. Mitsyna L. V., Popov A. B., Computing Investigations of the Neutron Producing Target for Electron Accelerator, In: Fundamental interactions and neutrons, nuclear structure, ultracold neutrons, related topics. XX Int. Seminar on Interaction of neutron with nuclei. Alushta, Ukraine, May 21 – 26, 2012, JINR-E3-2013-22, p.181, Dubna (2013).
125. Pokotilovski Yu.N., Potential of the neutron Lloyd's mirror interferometer for the search for new interactions ЖЭТФ 143 (2013) 701-712; JETP 116 (2013) 609-619
126. Pokotilovski Yu.N., Strongly coupled chameleon fields: possible test with a neutron Lloyd's mirror interferometer. *Phys. Lett. B*719 (2013) 341-345.
127. Ruskov I., Kopatch Yu. N., Skoy V. R., Dermendjiev E., Hamsch F.-J., Shvetsov V. N., Sedyshev P. V., Panteleev Ts., Pikelner L. B., Janeva N., Negovellov S. I., Mareev Yu. D., Mezentseva Zh. V., Ivanov I., A setup for the investigation of the resonance neutron induced fission of <sup>239</sup>Pu, THEORY-2 Scientific Workshop on Nuclear Fission Dynamics and the Emission of Prompt Neutrons and Gamma Rays" 28-30.11.2012, Biarritz, France, Physics Procedia, Volume 47, 2013, Pages 137-143.
128. Ruskov I., Kopatch Yu.N., Skoy V.R., Shvetsov V.N., Sedyshev P.V., Pikelner L.B., Panteleev Ts., Negovellov S.I., Mareev Yu.D., Mezentseva Zh.V., Dermendjiev E., Janeva N., Ivanov I., Hamsch F.-J. Experimental Setup for Investigation of the Resonance Neutron Induced Fission of <sup>239</sup>Pu, In: XX International Seminar on Interaction of Neutrons with Nuclei, Dubna, May 2012, E3-2013-22, Dubna, 2013, p. 234-239
130. B., Vogelaar R. B., Wang Z., and Xu Yanping. Performance of the Los Alamos National Laboratory spallation-driven solid-deuterium ultra-cold neutron source. *Rev. Sci. Instrum.* v. 84, 013304 (2013).
131. Sharapov E. I., Morris C. L., Makela M., Saunders A., Adamek Evan R., Bagdasarova Y., Broussard L. J., Cude-Woods C. B., Fellers Deion E., Geltenbort Peter, Hasan S. I., Hickerson K. P., Hogan G., Holley A. T., Liu C. Chen-Yu, Mendenhall M. P., Ortiz J., Pattie Jr., R. W., Phillips III, D. G., Ramsey J., Salvat D. J., Seestrom S. J., Shaw E.,

- Sjue Sky, Sondheim W. E., VornDick B., Wang Z., Womack T. L., Young A. R., and Zeck B. A. Measurements of ultracold neutron upscattering and absorption in polyethylene and vanadium. *Physical Review C*, v. 88, 037601 (2013).
132. Sharapov E. I., Morris C. L., Makela M., Saunders A., Evan Adamek R., Broussard L. J., Cude-Woods C. B., Fellers Deion E., Geltenbort Peter, Hasan S. I., Hickerson K. P., Hogan G., Holley A. T., Lavelle C. M., Liu Chen-Yu, Mendenhall M. P., Ortiz J., Pattie Jr., R. W., Phillips III, D. G., Ramsey J., Salvat D. J., Seestrom S. J., Shaw E., Sjue Sky, Sondheim W. E., VornDick B., Wang Z., Womack T. L., Young A. R., and Zeck B. A. Upscattering of ultracold neutrons from the polymer [C6H12]<sub>n</sub>. *Physical Review C*, v. 88, 064600 (2013).
133. Vesna V. A., Gledenov Yu. M., Oprea A., Oprea C., Sedyshev P. V., Shulgina E. V. Search for P-odd effects in interaction of polarized neutrons with natural lead. *ISINN-20 (Dubna: JINR, 2013) 49-57.*
134. Zeynalov Sh., Zeynalova O.V., Hamsch F.-J., Oberstedt S. Recent results from investigation of prompt fission neutron emission in spontaneous fission of <sup>252</sup>Cf. *Proceedings of the IAEA Technical Meeting Held in Vienna, Austria, 11-15 October, 2010, IAEA-Techdoc-1706, 2013, p. 109-117.*
135. Zeynalova O.V., Zeynalov Sh., Hamsch F.-J., Oberstedt S. Digital signal processing application in nuclear fission. *Proceedings of the IAEA Technical Meeting Held in Vienna, Austria, 11-15 October, 2010, IAEA-Techdoc-1706, 2013, p. 95-108.*
136. Несвижевский В. В., Воронин А. Ю., Ламбрехт А., Рейно С., Лычагин Е. В., Муzychка А. Ю., Стрелков А. В. Наблюдение квантовой левитации наночастиц методом ультрахолодных нейтронов. *Кристаллография, 2013, том 58, № 5, с. 730–736 (V. V. Nesvizhevsky, A. Yu. Voronin, A. Lambrecht, S. Reynaud, E. V. Lychagin, A. Yu. Muzychka, and A. V. Strelkov. Quantum Levitation of Nanoparticles Seen with Ultracold Neutrons. Crystallography Reports, 2013, Vol. 58, No. 5, pp. 743–748.)*
137. Саламатин И. М., Саламатин К. М. Разработка компонентной САЭ для физики низких энергий на основе использования сетевых технологий // ОИЯИ Р13-2013-74, Дубна, 2007, 33 с.
138. Суховой А. М., Хитров В. А. Основные положения и результаты применения модифицированной модели распределения ширины нейтронных резонансов в области масс  $35 \leq A \leq 249$ , *Ядерная физика, 2013, т. 76(1), сс. 70-81. (Sukhovej A. M., Khitrov V. A. Fundamentals of a modified model of the distribution of neutron-resonance widths and results of its application in the mass-number range of  $35 \leq A \leq 249$ , Physics of atomic nucleus, 2013, 76(1), 68-79.)*
139. Франк А.И. Ускорение и замедление нейтронов: от фазовой модуляции нейтронной волны к нейтронной турбине с преломляющими призмами. *Ядерная Физика, 76, 585 (2013)*
140. Франк А.И., Наумов В.А. Взаимодействие волн с двоякопреломляющим веществом, движущимся с ускорением. *Ядерная физика, 76, 1507 (2013)*

#### Теоретические работы

141. Ignatovich V. K. Contradiction of the density matrix notion in Quantum Mechanics. *Universal Journal of Physics and Application, 2013, Volume 1, issue 2, pp. 189-195.*
142. Ignatovich V. K., Nesvizhevsky V. V., Reflection of slow neutrons from powder of nanorods, *E4-2013-106.*
143. Игнатович В. К Фаза Берри для нейтрона. *УФН 2013, т. 183, №6, стр. 631–632 (Ignatovich V. K. The neutron Berry phase, Uspekni, 2013, Volume 56, n. 6, p. 603-604)*

#### Прикладные работы

144. Aleksiyenak Yu. V., M.V. Frontasyeva, M. Florek, I. Sykora, K. Holy, J. Masarik, M.Jeskovsky, L. Brestakova, E. Steinnes, A. Faanhof, K.I. Ramatlhape. Distribution of <sup>137</sup>Cs and <sup>210</sup>Pb in moss collected from Belarus and Slovakia. *Journal of Environmental Radioactivity, Vol. 117, March, 2013, p. 19-24.*
145. Baljinyam N., M.V. Frontasyeva, Yu. V. Alekseyonok. INAA for determination of trace elements in bottom sediments of the Selenga River basin in Mongolia. *Accepted by Physics of Elementary Particles and Atomic Nuclei. 2013.*
146. Barandovski L., T. Stafilov, M. Frontasyeva, R. Šajin, K. Bačeva, M. Mihajlov. Air pollution study in Macedonia by
148. Doroshkevich N.V., A.V. Shilo, A.S. Doroshkevich, T.E. Konstantinova, M.V. Frontasyeva. Effect of pulsed magnetic field on physiological activity of basidiomycetes *Pleurotus ostreatus* (JACQ.: FR.) KUMMER. *Actual Problems in Biochemistry and Bionanotechnology. Collection of papers of the III International Internet conference. Kazan, 19-22 November 2012 / Editor E.D. Izotova FGAOU VPO "Kazan (Privolzhsky) federal University, Department of Biochemistry, Service of Virtual conferences Pax Grid. - Kazan: Publishing House "Kazan University", 2013, p. 122-128 (Н.В. Дорошкевич, А.В. Шило, А.С. Дорошкевич, Т.Е. Константинова, М.В. Фронтасьева. Влияние импульсного магнитного поля на физиологическую активность базидального гриба *Pleurotus ostreatus* (JACQ.: FR.) KUMMER. Актуальные using moss biomonitoring technique, ICP-AES and AAS. *Macedonian Journal of Chemistry and Chemical Engineering, Vol. 32, No.1, 2013, p. 89-107.**
147. Dmitriev A.Yu., S.S. Pavlov. Automation of quantitative determination of elemental content of samples by neutron activation analysis at the reactor IBR-2 in FLNP JINR. *Physics of Particles and Nuclei Letters, Vol. 10, No. 1(178), 2013, p. 58-64. А.Ю. Дмитриев, С.С. Павлов. Автоматизация количественного определения содержания элементов в образцах методом нейтронного активационного анализа на реакторе ИБР-2 в ЛНФ ОИЯИ. Письма в ЭЧАЯ. Том 10, № 1(178), 2013, с. 58-64.*
149. Duliu O.G., S. I. Lyapunov, A. V. Gorbunov, C. Ricman, T. Brustur, S. A. Szobotka, R. G. Dimitriu, C. Pop, M. V. Frontasyeva, O. A. Culicov, and M. Iovea. On the heavy elements content of sediments and rocks from two semiclosed ecosystems: Proglacial Lake Balea (Fagara Mountains) and Crater Lake St. Ana ((Harghita Mountains). *Physics of Particles and Nuclei Letters, Vol. 10, No. 5, 2013, p. 469–475.*

### 3. ПУБЛИКАЦИИ

150. Ene A., C. Gheorghies, M.V. Frontasyeva, X-ray based techniques used in materials analysis and control, The 17th International conference NEW TECHNOLOGIES AND PRODUCTS IN MACHINE MANUFACTURING TECHNOLOGIES - Tehnomus XVII, 17-18 May 2013, Suceava, Romania, TEHNOMUS Journal, 2013, p. 193-196.
151. Ene A., M.V. Frontasyeva, Applications of neutron activation analysis technique in element determination at trace level, The 17th International conference NEW TECHNOLOGIES AND PRODUCTS IN MACHINE MANUFACTURING TECHNOLOGIES - Tehnomus XVII, 17-18 May 2013, Suceava, Romania, TEHNOMUS Journal, 2013, p. 165-171.
152. Eze C.P., O. Fatoba, G. Madzivire, T.M. Ostrovnyaya, L.F. Petrik, M.V. Frontasyeva, A.N. Nechaev. Elemental composition of coal fly ash: Matla coal power station in the Mpumalanga province in South Africa case study using nuclear and related analytical techniques. JINR Preprint, 2013.
153. Frontasyeva M.V., Problems of the Environment in Russia. Submitted to Proceedings of The 15th International Conference "Science. Philosophy. Religion. Man in Technological World. Challenges of the XXI Century", 25-26 October, 2012, Dubna, Russia". Editor V.I. Nemychenkov, ООО "Visit-Art", Moscow, 2013 (in Russian), p. 77-91. М.В. Фронтасьева. Проблемы окружающей среды в России. В Сборнике трудов 15 Международной конференции «Наука. Философия. Религия. Человек в техническом мире: вызовы XXI века». 25-26 Октября, 2012, Дубна, Россия. Под ред. В.И. Немыченкова, ООО «Визит-Арт», Moscow, 2013, с. 77-91
154. Gorbunov A., S. Lyapunov, E. Mochalova, M. Frontasyeva, S. Pavlov. Assessment of factors influencing trace element content of the basidiomycetes in the European part of Russia. Accepted by Advances in Microbiology (AIM) (<http://www.scirp.org/journal/aim/>).
155. Harmens H., ... Aleksiyaynak, ...O. A. Culicov, ...M.V. Frontasyeva, ... Z. I. Goryainova, ...K.N. Vergel, ...I. Zinicovscaia, HEAVY METALS AND NITROGEN IN MOSSES: SPATIAL PATTERNS IN 2010/2011 AND LONG-TERM TEMPORAL TRENDS IN EUROPE, H. Harmens, D. Norris, G. Mills (Eds.), ICP Vegetation Programme Coordination Centre Centre for Ecology and Hydrology Environment Centre Wales, Bangor, UK, March 2013, 63 pp.; ISBN 978-1-906698-38-6. [http://icpvegetation.ceh.ac.uk/publications/documents/Final\\_mossreport2010-11forweb](http://icpvegetation.ceh.ac.uk/publications/documents/Final_mossreport2010-11forweb)
156. Huran J., Valovic A., Bohacek P., Shvetsov V. N., Kobzev A. P., Borzakov S. B., Kleinova A., Sekacova M., Arbet J., Sasinkova V. The effect of neutron irradiation on the properties SiC and SiC(N) layer prepared by plasma Lazo P., T. Stafillov, M. Frontasyeva, F. Qarri, K. Baceva, Z. Goryainova, L. Bekteshi. Multi-elements atmospheric deposition study in Albania. Fresenius Environmental Bulletin. No.1, 2013.
165. Maslyuk V.T., N.I. Svatyuk, M.V. Stets, M.V. Frontasyeva, O.O. Parlag. Statistical regularities in the distribution of radionuclides in sediments of transcarpathia mountain rivers. Journal of Environmental Radioactivity, Vol. 117, March, 2013, p. 9-12.
166. Qarri F., P. Lazo, T. Stafillov, M. Frontasyeva, H. Harmens, L. Bekteshi, K. Baceva, Z. Goryainova. Multi-elements atmospheric deposition study in Albania. Environmental Science and Pollution Research (Impact Factor: 2.65). Published online 01.10.2013; DOI:10.1007/s11356-013-2091-1.
- enhanced chemical vapor deposition. Applied Surface Science, Volume 269, 15 March 2013, Pages 88 – 91.
157. Zinicovscaia I., Duca Gh., Cepoi L., Chiriac T., Rudi L., Mitina T., Frontasyeva M.V., Pavlov S.S., Gundorina S.F. Biotechnology of metal removal from industrial wastewater: zinc case study. Accepted by Clean-Soil, Air, Water, 2013, DOI: 10.1002/clen.2012005702012 (IF 2.046).
158. Zinicovscaia I., Duca Gh., Rudic V., Cepoi L., Chiriac T., Frontasyeva M.V., Pavlov S.S., Gundorina S.F. Spirulina platensis as biosorbent of zinc in water. Accepted by Environmental Engineering and Management Journal.
159. Zinicovscaia I., Gh. Duca, V. Rudic, L. Cepoi, T. Chiriac, M. V. Frontasyeva, S. S. Pavlov, S. F. Gundorina. Spirulina platensis as biosorbent of zinc in water. Environmental Engineering and Management Journal, 12(6), 1079-1084, 2013 (IF 1.117).
160. Ignatenko O.V., V.A. Komar, S.V. Leonchik, N.A. Shempel, A. Ene, A. Cantaragiu, M.V. Frontasyeva, V.N. Shvetsov, Changes of nitrides characteristics in Li-N system synthesized at different pressures. Journal of Alloys and Compounds. Vol. 581, 2013, p. 23-37 (IF=2.39). A. Ene, M.V. Frontasyeva, Applications of neutron activation analysis technique in element determination at trace level, The 17th International conference NEW TECHNOLOGIES AND PRODUCTS IN MACHINE MANUFACTURING TECHNOLOGIES - Tehnomus XVII, 17-18 May 2013, Suceava, Romania, TEHNOMUS Journal, 2013, p. 165-171.
161. Kalabegishvili T., E. Kirkesali, A. Rcheulishvili, E. Ginturi, I. Murusidze, N. Kuchava, N. Bagdavadze, G. Tsertsvadze, V. Gabunia, M. V. Frontasyeva, S.S. Pavlov, I. Zinicovscaia, M.J. Raven, N.M.F. Seaga, A. Faanhof. Synthesis of gold nanoparticles by blue-green algae Spirulina platensis. Advanced Sciences, Engineering and Medicine. Vol. 5, 2013, p. 46-54. (a)
162. Kalabegishvili T.L., I.G. Murusidze, E.I.Kirkesali, A.N. Rcheulishvili, E.N. Ginturi, E. S. Gelagutashvili, N.E. Kuchava, N.V. Bagdavadze, D.T. Pataraya, M.A. Gurielidze, M.V. Frontasyeva, I.I. Zinicovscaia, S.S. Pavlov, V.T. Gritsyna. Development of biotechnology for microbial synthesis of gold and silver nanoparticles. Journal of Life Sciences, Feb. 2013, Vol. 7, No. 2, pp. 110-122, ISSN 1934-7391, USA. (b)
163. Krmar M., K. Wattanavatee, D. Radnovic, J. Slivka, T. Bhongsuwan, M. Frontasyeva, S. Pavlov. Airborne radionuclides in mosses collected at different latitudes. Journal of Environmental Radioactivity, Vol. 117, 2013, p. 45-48.
164. Kulik M., Rzdokiewicz W., Gluba L., Kobzev A. P., Dielectric Function of Native Oxide on Ion-Implanted GaAs, 2013, Acta Physica Polonica A, Volumen 123, Issue 5, pp. 956-959.
168. Rzdokiewicz W., Kulik M., Gluba L., Kobzev A. P., Nuclear and Optical Analyses of MOS Devices, 2013, Acta Physica Polonica A, Volumen 123, Issue 5, pp. 956-959.
169. Saitanis C.J., M.V. Frontasyeva, E. Steinnes, M.W. Palmer, T.M. Ostrovnyaya, S.F. Gundorina. Spatiotemporal distribution of airborne elements monitored with the moss bags technique in the Greater Thriasion Plain, Attica, Greece. Environmental Monitoring and Assessment. Vol. 185, No. 1, 2013, p. 955-968.
170. Setnescu T., I. Bancuta, R. Setnescu, R. Bancuta, A. Chilian, E.D. Chelărescu, O. Culicov, M. Frontasyeva, M. Bumbac. Characterization of some therapeutic muds collected at different sites in Romania. Accepted by Revue Roumaine de Chimie (IF=0.418/2011).
171. Špirić Z., I. Vučković, T. Stafillov, V. Kušan, M.

- Frontasyeva, Air pollution study in Croatia using moss biomonitoring and ICP–AES and AAS analytical techniques. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, Vol. 65, No. 1, 2013, 33-46.
172. Vuković G., M. Aničić Urošević, I. Razumenić, Z. Goryainova, M. Frontasyeva, M. Tomašević, A. Popović. Active moss biomonitoring of small-scale spatial distribution of airborne major and trace elements in Belgrade urban area. Environmental Science and Pollution Research. Vol. 20, 2013, p. 5461–5470. (Impact factor: 2.65).
173. Д.Ю. Зорина, М.С. Козырева, З.И. Горяйнова, А.Ю. Дмитриев, В.А. Бацевич, М.В. Фронтасьева. Нейтронный активационный анализ волос детей Онгудайского района Республики Алтай. Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии, № 10, 2013, с. 386-405. D.Yu. Zorina, M.S. Kozyreva, Z.I. Goryainova, A.Yu. Dmitriev, V.A. Vatsевич, M.V. Frontasyeva. Neutron activation analysis of hair of children from Ongudaisk district of Altai Republic. Biological, Medical and Pharmaceutical Chemistry. № 10, 2013, p. 386-405.
174. Кобзев А.П., Вахтель В. М., Работкин В. А. Аналитические возможности ядерно-физических методов. Ядерная физика и инжиниринг. 2013, том 4, №7, стр. 678 – 684.
175. Кравцова А.В., Н.А. Мильчакова, М.В. Фронтасьева. Многоэлементный инструментальный нейтронный активационный анализ в изучении макроводорослей рода *Cystoseira* как биомониторов загрязнения прибрежных вод Черного моря (юго-западный Крым, Севастополь). Препринт ОИЯИ, P18-2013-38, Дубна, 2013, 17 с.
176. Павлов С.С., А.Ю. Дмитриев, М.В. Фронтасьева. Автоматизация реакторного нейтронного активационного анализа. Направлено в TECDOC Координационной программы МАГАТЭ F1.20.25 / CRP1888 «Development of an Integrated Approach to Routine Automation of Neutron Activation Analysis», August, 2013; Сообщения ОИЯИ, D18-2013-87, Дубна, 2013. S.S. Pavlov, A.Yu. Dmitriev, M.V. Frontasyeva. Automation of reactor neutron activation analysis. JINR Communication, Dubna, 2013. Submitted to TECDOC of IAEA Coordination research program F1.20.25 / CRP1888 «Development of an Integrated Approach to Routine Automation of Neutron Activation Analysis», August, 2013. Communications of JINR, D18-2013-87, Dubna, 2013.
177. Юшин Н.С., К.Н. Вергель, И.З. Каманина, М.В. Фронтасьева. Мониторинг атмосферных выпадений следовых элементов на территории района Очаково-Матвеевское г. Москвы на основе анализа мхов-биоиндикаторов методом нейтронного активационного анализа. Proceeding of The IV International Environmental Congress, VI International Scientific-Technical Conference «Ecology and Life Protection of Industrial-Transport Complexes. Togliatti-Samara, Russia, 18-22 September, 2013, сс. 250-255. N.S. Yushin, K.N. Vergel. I.Z. Kamanina, M.V. Frontasyeva. Monitoring atmospheric deposition of trace elements in the territory of Ochakovo-Matveevskoe district of Moscow based on moss analysis using neutron activation analysis. Proceeding of The IV International Environmental Congress, VI International Scientific-Technical Conference «Ecology and Life Protection of Industrial-Transport Complexes. Togliatti-Samara, Russia, 18-22 September, 2013, pp. 250-255.

## КОНФЕРЕНЦИИ

### ОТДЕЛ НЕЙТРОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД

- Avdeev M.V., Aggregation Processes in Complex Fluids by Small-Angle Neutron Scattering, XVIIth Research Workshop «Nucleation Theory and Applications», 1-30 April, 2013, JINR, Dubna, Russia, oral report.
- Avdeev M.V., Neutron Reflectometry: Experimental Aspects, 7th Central European Training School on Neutron Scattering, 27 - 31 May 2013, Budapest, Hungary, invited lecture.
- Avdeev M.V., Aksenov V.L., **Tomchuk O.V.**, Bulavin L.A., Garamus V.M., Osawa E, Specific features of  $sp^3$ – $sp^2$  spatial transition in detonation nanodiamond by small-angle neutron scattering, International conference «Advanced carbon nanostructures» (ACNS-2013), 1-5 July 2013, Saint-Petersburg, Russia, oral report.
- Avdeev M.V., Aksenov V.L., Tomchuk O.V., Rogachev A.V., Rosta L., Garamus V.M., Specific features of detonation nanodiamonds by small-angle neutron scattering, International Conference on Neutron Scattering ICNS-2013, 8 – 14 July, 2013, Edinburgh, UK, oral report.
- Avdeev M.V., Interaction effects in magnetic fluids by scattering techniques, International Workshop «Structural aspects of biocompatible ferrocolloids: stabilization, properties control and application, BIOFC-2013», 26-28 August 2013, Kosice, Slavakia, invited report.
- Avdeev M.V., Prospects for large-scale structure research at the IBR-2 reactor, Workshop 'Instrument development on long pulse neutron sources' August 18-21, 2013, FLNP JINR, Dubna, Moscow Reg., Russia, oral report.
- Avdeev M.V., Structural nanodiagnostics of ferrocolloidal systems by neutron scattering, RACIRI summer school «Advanced Materials Design at X-ray and Neutron Facilities», RACIRI 2013, 17-25 August 2013, Petergof, Russia, invited lecture.
- Авдеев М.В., Вариация контраста в экспериментах МУРН на дисперсных системах, Соповещение ОИКС ПИЯФ по малоугловому рассеянию и рефлектометрии МУРомец-2013, 19-20 сентября 2013, Гатчина, Россия, устный доклад.
- Avdeev M.V., Magnetic colloids for biomedicine, Workshop on neutron science, October 16-18, Gatchina, Russia, invited report.
- Авдеев М.В., Малоугловое рассеяние нейтронов, Международная молодежная научная школа «Современная нейтронография», 28 октября - 1 ноября 2013, Дубна, Россия, приглашенная лекция.
- Авдеев М.В., Спектрометры нейтронов для физики конденсированного состояния, Четвертая международная молодежная научная школа «Приборы и методы экспериментальной ядерной физики. Электроника и автоматика экспериментальных установок», 5-9 ноября 2013, Дубна Моск. Обл., приглашенная лекция.
- Авдеев М.В., Поляризационный анализ в нейтронографии феррожидкостей: обзор, «Школа поляризованных нейтронов в Гатчине: Техника и

### 3. ПУБЛИКАЦИИ

- методики рассеяния поляризованных нейтронов», 23-24 декабря 2013, Петергоф, Россия, устный доклад.
13. Balagurov A.M., Bobrikov I. A., Grabis J., Jakovlevs D., Kuzmin A., Maiorov M., Mironova-Ulmane N., "Neutron scattering study of structural and magnetic size effects in NiO", "Functional materials and Nanotechnologies-2013" Tartu, Estonia, April, 21 – 24, 2013. Балагуров А.М., "Современные возможности дифракции нейтронов", Рабочее совещание "Современные ядерно-физические методы исследования в физике конденсированных сред" Минск, Беларусь, 22 – 23.04.2013.
  14. Balagurov A.M., "Ferrite-Martensite Steels Dispersion Hardening studied by TOF Neutron Diffraction", 3<sup>rd</sup> Research Coordinated Meeting (RCM) related to the IAEA CRP "Development, Characterization and Testing of Materials of Relevance to Nuclear Energy Sector Using Neutron Beams", 13-19 May 2013, Dubna.
  15. Balagurov A.M., Bobrikov I.A., Mironova-Ulmane N., Kuzmin A., Structural and magnetic size effects in NiO nanopowders, DICNMA-2013, Spain, Donostia, 9-13 September, 2013.
  16. Behrman J.H. & Ullemeyer K., "Innovations and upgrades at the SKAT Texture Diffractometer: perspectives for studies on polyphase rocks". BMBF-JINR Workshop on instrument development on long pulse neutron sources. Dubna (Russia), August 19-20, 2013.
  17. Bobrikov I.A., Balagurov A.M., Lee Ch.-H., Hu Ch.-W., Chen T.-Y., Deleg S., In-situ neutron diffraction analysis of Li-ion batteries at the IBR-2 pulsed reactor, ICNS-2013, г. Эдинбург, Шотландия, UK, P.002, 8-12 July, 2013.
  18. Бобриков И.А., Исследования перспективных Li-ion аккумуляторов с помощью нейтронной дифракции, Конференция ОМУС-2013, г. Дубна, 8-12 апреля, 2013.
  19. Бобриков И.А., Балагуров А.М, Сангаа Дэлэг, Чих-Вэй Ху, Чих-Хаол Ди, In-situ исследования электродов Li-ion аккумуляторов с помощью нейтронной дифракции, Конференция ВНКСФ-19, г. Архангельск, 87, 28 марта – 4 апреля, 2013.
  20. Боднарчук В.И. Совещание ОИКС по малоугловому рассеянию и рефлектометрии Муромец-2013, доклад «Проект спин эхо МУРН/спин эхо рефлектометра на импульсном реакторе ИБР-2».
  21. Боднарчук В.И. Школа по физике поляризованных нейтронов 2013, 23-24 декабря 2013 г., Гатчина, устный доклад «Попытки исследования спиновой динамики в ферромагнитных многослойках методом нейтронной рефлектометрии».
  22. Vokuchava Gizo, Petrov Peter, Papushkin Igor, Venter Andrew, "Residual stress studies in electron and laser beam welding using neutron diffraction", Third National Conference with International participation "Materials Science, Hydro- and Aerodynamics and National Security'2013", October 24 - 25, 2013, Sofia, Bulgaria.
  23. Walther K., Scheffzueck, Schilling Ch., Sikolenko F., Bulkin V., A. & Frischbutter, A. "Upgraded neutron optics and upgraded high resolution TOF-diffractometer Epsilon at pulsed reactor IBR-2M", International Conference on Neutron Scattering, ICNS 2013, Edinburgh (UK), July 8-12, 2013.
  24. Chudoba D., Kozlenko D.P., Natkaniec I., „Stanowiska pomiarowe przy impulsowym reaktorze IBR-2" VIII Ogólnopolska Konferencja "Rozpraszanie neutronów i metody komplementarne w badaniach faz skondensowanych", 16-20.06 2013, Chlewicka, Poland.
  25. Chudoba D., Druzbicki K., "Vibrational Spectroscopy of selected molecular crystals studied by means of density functional perturbation theor", DMM-II, Dynamics of Molecules and Materials-II, 5 – 6.07 2013, University of Glasgow, Scotland.
  26. Chudoba D., Druzbicki K., Ortyl J., "Complementary Vibrational Spectroscopy Studies of Novel Iodonium Photoinitiators for Cationic Polymerization", ICNS2013 – International Conference on Neutron Scattering, 8 – 12.07 2013, Edinburg, Scotland.
  27. Chudoba D., Pajzderska A., Druzbicki K., Wąsicki J., "Ab initio Solid-State Computations of The Vibrational Properties of Selected Pharmaceutical Solids", MSSVN-2013, 11 – 14.11 2013, Tula, Russia.
  28. Chudoba D., Natkaniec I., Sashin I.L., "Current status of NERA test-bench", 17-18.06.2013, 38th Programme Advisory Committee for Condensed Matter Physics, Dubna, Russia.
  29. Grujic D., Heidelbach, F., Mrkwiczka, S. & Ullemeyer, K., "Temperature record of quartz mylonite during exhumation" European Geosciences Union General Assembly, Vienna, 7-12 April 2013.
  30. Джабаров С.Г.: «Структурные изменения в  $PbMg_{1/2}W_{1/2}O_3$  при высоком давлении и температуре», XVII молодежная научная конференция Объединения молодых ученых и специалистов (ОМУС), 08 - 12 апреля 2013 года, Дубна, Россия.
  31. Druzbicki K., Ortyl J., Chudoba D., Mikuli E., „Complementary Vibrational Spectroscopy Studies of Selected Novel Iodonium Photoinitiators for Cationic Polymerization", ICMS2013 - XIIth International Conference on Molecular Spectroscopy, 8 – 12.09 2013, Cracow – Białka Tatrzańska, Poland.
  32. Druzbicki K., "Raman and Terahertz Spectroscopy Study of Polymorphism in Resorcinol: Insight from Solid-State Density Functional Theory", CASTEP Training Workshop, 19-23.08 2013, Oxford University, UK.
  33. Druzbicki K., Mikuli E., "Polymorphism of Resorcinol Studied by Raman Spectroscopy and Solid State Density Functional Theory", ICMS2013 - the XIIth International Conference on Molecular Spectroscopy", 8-12.09.2013, Cracow-Białka Tatrzańska, Poland.
  34. Druzbicki K., "Raman and Terahertz Spectroscopy Study of Polymorphism in Resorcinol: Insight from Solid-State Density Functional Theory" MSSC2013 - Ab initio Modelling in Solid State Chemistry, 16 –20.09 2013 r. Imperial College London, UK.
  35. Jargalan N., Tropin T.V., Avdeev M.V., Kyzyma O.A., Sangaa D., Aksenov V.L. "Study of fullerene C60 solution", The 5<sup>th</sup> International Conference on Contemporary Physics (ICCP-V), National University of Mongolia, Ulaanbaatar, Mongolia, 2013, oral report.
  36. Jargalan N., Tropin T.V., Avdeev M.V., Kyzyma O.A., Sangaa D., Aksenov V.L., "Kinetics of cluster growth in polar solutions of fullerene: study of C60/NMP solution", The 37th meeting of the JINR Programme Advisory Committee for Condensed Matter Physics, JINR, Dubna, Russia, 2013, poster report.
  37. Jargalan N., Tropin T.V., Avdeev M.V., Kyzyma O.A., Sangaa D., Aksenov V.L., "Kinetics of cluster growth in polar solutions of fullerene: study of C60/NMP solution", 113th session of the Scientific Council, JINR, Dubna, Russia, 2013, oral report.
  38. Ionita I., Balasoiu M.M., Bokuchava G., Kuklin A., Torok G., Soloviev D., Fulger M. and Beran P., "Study of the aging behavior of materials important in nuclear energy field - Incoloy 800 HT and 304L steel using neutron scattering techniques", ICNS 2013 - International Conference on Neutron Scattering, 8-12 July 2013,

- Edinburgh, UK. www.icns2013.org, Abstract book: Nr. P.026, page 156.
39. Keppler R., Ullemeyer, K., Behrmann, J.H. & Stipp, M. "Crystallographic preferred orientation and elastic anisotropy of high-pressure rocks from the Eclogite Zone of the Tauern Window", Austria European Geosciences Union General Assembly, Vienna, 7-12 April 2013.
  40. Keppler R., Ullemeyer K., Behrmann, J.H. & Stipp M. "Crystallographic preferred orientation and elastic anisotropy of high-pressure rocks from the Eclogite Zone of the Tauern Window", Austria. American Geophysical Union Fall Meeting, San Francisco, 9-13 December 2013.
  41. Кичанов С.Е. «Исследование структурного аспекта формирования оптических свойств в кристаллофосфорах  $Y_3Al_5O_{12}:Ce^{3+}/Lu_2O_3$ », Рабочее совещание «Современные ядерно-физические методы исследования в физике конденсированных сред» 22-23 апреля 2013, Минск, Беларусь.
  42. Кичанов С.Е. «Diffraction at high pressure at the IBR-2M reactor», Workshop BMBF-FLNP JINR 19-20 августа 2013, Дубна, Россия.
  43. Кичанов С.Е. «Pressure-induced Structural and Magnetic Transformations in  $La_{0.75}Ca_{0.25}MnO_3$ », Workshop of the IUCr Commission on High Pressure, 08-11 сентября 2013, Гамбург, Германия.
  44. Кичанов С.Е. «The structural aspects of optical properties forming in  $Y_3Al_5O_{12}:Ce^{3+}$  phosphors», International Conference of neutron scattering ICNS-2013, 08-12 июля 2013, Эдинбург, Великобритания.
  45. Кичанов С.Е. «Структурный аспект формирования оптических свойств в оптически-активных материалах», Конференция "Многомасштабное моделирование структур, строение вещества, наноматериалы и нанотехнологии посвященная памяти профессора Никитина" А.Н., 11 – 14 ноября 2013, Тула, Россия.
  46. Козленко Д.П. "Современная нейтронография: исследования функциональных материалов", Международная научная школа "Современная нейтронография", 28 октября – 1 ноября 2013, Дубна, Россия.
  47. Kozhevnikov S.V., Neutron sonde microscopy for the investigation of magnetic microstructures, 38-я сессия ПКК по физике конденсированных сред, 17-18 июня 2013 года, Дубна, Россия.
  48. Кожевников С.В., Представление данных незеркального рассеяния нейтронов. Рабочее совещание "Школа поляризованных нейтронов в Гатчине - 2013", 23-24 декабря 2013 года, Гатчина, Россия.
  49. Kosyl M., Zając W., Ossowska-Chruściel M.D., Chruściel J., Wojciechowska S., „Nowe tioestrowe pochodne cholesterolu”, VIII Ogólnopolska Konferencja "Rozpraszanie neutronów i metody komplementarne w badaniach faz skondensowanych", 16-20.06 2013, Chlewiska, Poland.
  50. Krawczak M., Zalewski S., „Modelowanie właściwości strukturalnych i widm INS rezorcinolu w oparciu o obliczenia kwantowo-chemiczne”, VIII Ogólnopolska Konferencja "Rozpraszanie neutronów i metody komplementarne w badaniach faz skondensowanych", 16-20.06 2013, Chlewiska, Poland.
  51. Kwocz A., Filarowski A., Kochel A., "Synthesis, spectroscopy and theoretical studies Schiff bases", Central European School on Physical Organic Chemistry "From molecule to material. Chemistry for the future.", 27-31.05.2013, Przesieka, Poland.
  52. Lopatkova M., Barbosa N., Wieczorek R., Filarowski A., "Excited-state DFT and TD-DFT calculations of BODIPY compounds", Central European School on Physical Organic Chemistry "From molecule to material. Chemistry for the future." 27-31.05.2013, Przesieka, Poland.
  53. Lopatkova M., Filarowski A., "Theoretical and Experimental Study of Photophysical Properties of Fluorescent BODIPY Dyes", European Conferences on Boron Chemistry EuroBoron6., 8-13.09.2013 Radziejowice, Poland.
  54. Лошак Н.В. «Изменения структуры молекулярного кристалла хлорпропамида под действием температуры и высокого давления», XVII молодежная научная конференция Объединения молодых ученых и специалистов (ОМУС), 08 - 12 апреля 2013 года, Дубна, Россия.
  55. Лукин Е.В. «Эксперименты по радиографии на нейтронных пучках реактора ИБР-2», XVII молодежная научная конференция Объединения молодых ученых и специалистов (ОМУС), 08 по 12 апреля 2013 года, Дубна, Россия.
  56. Лукин Е.В.: «High pressure spectrometer DN-6», Workshop of the IUCr Commission on High Pressure, 08-11 сентября 2013, Гамбург, Германия.
  57. Łuczynska K., Starosta W., "Studies of the correlation between structural properties of titanate nanostructures and the sorption capacity for selected metal ions", 6<sup>th</sup> All-Polish Conference on Radiochemistry and Nuclear Chemistry, 21-24.04.2013, Cracow-Przegorzały, Poland.
  58. Luczynska K., Druzbicki, Pawlukoјc A., Starosta W., "Complementary Structural and Vibrational Spectroscopy Studies of Selected Chloranilic Acid Cocrystals", ICMS2013 - the XIth International Conference on Molecular Spectroscopy", 8-12.09 2013, Cracow-Bialka Tatrzańska, Poland.
  59. Łuczynska K., Druzbicki K., Pawlukoјc A., Starosta W., 'Ab initio Simulations of the Structural Properties and Vibrational Spectra of Novel Organic Ferroelectrics' MSSVN-2013, 11 – 14.11 2013, Tula, Russia.
  60. Luzin V., Nikolayev D. & Siegesmund S., "Temperature Induced Internal Stress in Marble. Abstract at 7th International Conference on Mechanical Stress Evaluation by Neutron and Synchrotron Radiation" MECA sens VII, Sydney (Australia), September 10-14, 2013.
  61. Martyniak A., Filarowski A., "Density functional theory and ab initio studies of the circle quasi-aromatic hydrogen bonding in tris-hydroxyaryl Schiff bases", Central European School on Physical Organic Chemistry "From molecule to material. Chemistry for the future.", 27-31.05.2013, Przesieka, Poland.
  62. Нагорный А.В. «47-ая Школа ПИЯФ по физике конденсированного состояния» (ФКС-2013). 11-16 марта 2013г., г. С.-Петербург (устно).
  63. Нагорный А.В. «XVII научная конференция Объединения молодых ученых и специалистов» (ОМУС-2013). 08-12 апреля 2013г., г. Дубна (устно).
  64. Natkaniec I., Chudoba D., Hetmańczyk Ł., Kazimirov V. Yu., Krawczyk J., Sashin I. L., Zalewski S., „Parametry spektrometru NERA dla termicznego i zimnego moderatora na impulsowym reaktorze IBR-2M”, VIII Ogólnopolska Konferencja "Rozpraszanie neutronów i metody komplementarne w badaniach faz skondensowanych", 16-20.06 2013, Chlewiska, Poland.
  65. Natkaniec I., Hołderna-Natkaniec K., „Dynamika grup metylowych di-metylopirydyny metodami IINS i technikami obliczeniowymi”, VIII Ogólnopolska Konferencja "Rozpraszanie neutronów i metody

### 3. ПУБЛИКАЦИИ

- komplementarne w badaniach faz skondensowanych", 16-20.06 2013, Chlewicka, Poland.
66. Natkaniec I., Drużbicki K., Hołderna-Natkaniec K., Gubin S. P., Sheka E. F., "INS and computational studies of vibrational spectra of water solvated graphene oxide", DMM-II. Dynamics of Molecules and Materials-II, 5 - 6 .07 2013 University of Glasgow, Scotland.
  67. Natkaniec I., Chudoba D., Hetmanczyk L., Kazimirov V. Yu., Krawczyk J., Sashin I. L., Zalewski S., "Parameters of the NERA spectrometer for cold and thermal moderators of the IBR-2M pulsed reactor": Dynamics of Molecules and Materials II Satellite workshop of the International Conference on Neutron Scattering 5-6 July 2013, University of Glasgow, Scotland; International Conference on Neutron Scattering ICNS2013, 8-12 July 2013 Edinburgh, UK.
  68. Папушкин И.В., Бокучава Г.Д., Сумин В.В., Балагуров А.М., "Исследование внутренних напряжений методом дифракции нейтронов на установке ФСД реактора ИБР-2", ФКС-2013: 47-ая Школа ПИЯФ по физике конденсированного состояния, 11-16 марта 2013 г., С.-Петербург.
  69. Petrenko V.I., Avdeev M.V., Bulavin L.A., Almasy L., Garamus V.M., Timko M., Aksenov V.L., Kopcansky P. Structure of amyloid protofibrils as revealed by small-angle scattering. 3rd International Conference "NANOBIOPHYSICS: Fundamental and Applied Aspects". Kharkov, Ukraine, October 7-10, 2013. Oral report.
  70. Петренко В.И., Влияние магнитных наночастиц на структуру водных растворов магнетоферритина по данным малоуглового рассеяния нейтронов и синхротронного излучения, Отчётный семинар национальной группы Украины в ОИЯИ, 20 ноября, 2013, Дубна, Россия, устный доклад.
  71. Руткаускас А.В. «Исследование сложных оксидов кобальта в широком диапазоне давлений и температур», Конференция "Многомасштабное моделирование структур, строение вещества, наноматериалы и нанотехнологии посвященная памяти профессора Никитина А.Н.", 11 – 14 ноября 2013, Тула, Россия.
  72. Руткаускас А.В. «Влияние высокого давления на кристаллическую и магнитную структуру сложного кобальтата  $YBaCo_2O_{5.5}$ », XVII молодежная научная конференция Объединения молодых ученых и специалистов (ОМУС), 08 - 12 апреля 2013 года, Дубна, Россия.
  73. Самойленко С.А. «Исследование силикатных стекл допированных оксидами церия и титана с помощью метода малоуглового рассеяния нейтронов», XVII молодежная научная конференция Объединения молодых ученых и специалистов (ОМУС), 08 - 12 апреля 2013 года, Дубна, Россия.
  74. Scheffzueck Ch., Walther K., Frischbutter A., Ullemeyer K., Schilling F.R., Behrmann J.H., Zhuravlov V.V., Sirotin A.P., Levchanovsky F.V., Korobchenko M.V., Kirilov A.S., Murashkevich S.M., Kulikov S.V. & Belushkin A.V. "The modernised diffractometers Epsilon/SKAT: first results after the restart of the IBR-2M", 37th PAC of Condensed Matter Physics, Dubna (Russia), January 21-22, 2013.
  75. Scheffzueck Ch., Vasin R., Ullemeyer K. & Naumann R. "Strain and texture investigations by means of neutron time-of-flight diffraction: application to polyphase gneisses", 7th International Conference on Mechanical Stress Evaluation by Neutron and Synchrotron Radiation. MECA sens VII, Sydney (Australia), September 10-14, 2013, 48.
  76. Scheffzueck Ch., "Current status of the neutron TOF strain diffractometer EPSILON" 2nd AONET Workshop ANSTO, Sydney (Australia), September 14, 2013.
  77. Schilling F.R., Scheffzueck K. & Walther K. "Stress-Strain diffractometer EPSILON at beamline 7A: status-report and first results after restart of the IBR-2M", BMBF-JINR Workshop on instrument development on long pulse neutron sources. Dubna (Russia), August 19-20, 2013.
  78. Томчук А.А., Кизима О.А., Авдеев М.В., Тропин Т.В., Изучение реорганизации кластеров в растворе  $C_{60}$ /N-метилпирролидон/вода методами малоуглового рассеяния нейтронов и динамического светорассеяния, 47-я Школа ПИЯФ по физике конденсированного состояния (ФКС-2013), 11-16 марта 2013, Гатчина, Россия, стендовый доклад.
  79. Томчук А.А., Кизима О.А., Авдеев М.В., Гарамус В.М., Томчук О.В., Булавин Л.А., Реорганизация кластерного состояния в системе  $C_{60}$ /N-метилпирролидон/вода, 17-я научная конференция молодых ученых и специалистов ОИЯИ к 100-летию В.П. Джеллепова (ОМУС-2013), 8-12 апреля 2013, Дубна, Россия, устный доклад.
  80. Tomchuk A.A., Kyzyma O.A., Avdeev M.V., Garamus V.M., Tomchuk O.V. and Bulavin L.A., Study of cluster reorganization in  $C_{60}$ /NMP/ $H_2O$  solutions by dynamic light scattering, International conference "Advanced carbon nanostructures" (ACNS-2013), 1-5 July 2013, Saint-Petersburg, Russia, poster report.
  81. Томчук А.А., Кизима О.А., Петренко В.И., Кошлань И.В., Волков Д.С., Авдеев М.В., Влияние структурных параметров водных систем фуллеренов на их токсичность, Международная молодежная научная школа «Современная нейтронография», 28 октября - 1 ноября 2013, Дубна, Россия, стендовый доклад.
  82. Томчук А.А., Авдеев М.В., Кластеризация фуллеренов  $C_{60}$  в смеси NMP-вода, II Международная конференция «Многомасштабное моделирование структур, строение вещества, наноматериалы и нанотехнологии», посвященная памяти профессора А.Н. Никитина, 11-14 ноября 2013, Тула, Россия, стендовый доклад.
  83. Tomchuk O.V., Avdeev M.V., Aksenov V.L., Garamus V.M., Bulavin L.A., Osawa E., The continuous 'bulk-interface' transition in detonation nanodiamond, PAC for Condensed Matter Physics of JINR. 21-22 January 2013, Dubna, Russia, poster report.
  84. Томчук А.В., Авдеев М.В., Булавин Л.А., Непрерывный пространственный переход алмаз-графит в детонационном наноалмазе, 47-я Школа ПИЯФ по физике конденсированного состояния (ФКС-2013), 11-16 марта 2013, Гатчина, Россия, стендовый доклад.
  85. Томчук А.В., Авдеев М.В., Аксенов В.Л., Булавин Л.А., Малоугловое рассеяние на дисперсных системах с диффузной границей раздела фаз, 17-я научная конференция молодых ученых и специалистов ОИЯИ к 100-летию Джеллепова В.П. (ОМУС-2013), 8-12 апреля 2013, Дубна, Россия, устный доклад.
  86. Tomchuk O.V., Avdeev M.V., Korobov M.V., Volkov D.S., Belyaeva L.A., Proskurnin M.A., Rogachev A.V. and Bulavin L.A., Aggregation in modified aqueous dispersions of detonation nanodiamonds as revealed by small-angle neutron scattering, International conference "Advanced carbon nanostructures" (ACNS-2013), 1-5 July 2013, Saint-Petersburg, Russia, poster report.
  87. Томчук А.В., Авдеев М.В., Булавин Л.А. и Гарамус В.М., Малоугловое рассеяние на детонационных наноалмазах как полидисперсных частицах с диффузной поверхностью, 3-я

- Международная школа-конференция молодых ученых «Методы диагностики углеродных наноструктур», 3 июля 2013, Санкт-Петербург, Россия, устный доклад.Scotland.
88. Томчук А.В., Авдеев М.В., Аксенов В.Л., Булавин Л.А., Гарамус В.М., Осава Е., МУРН на полидисперсных частицах с диффузной поверхностью: наноалмазы, Совещание ОИКС ПИЯФ по малоугловому рассеянию и рефлектометрии «МУРомец-2013». 19-20 сентября 2013, Гатчина, Россия, устный доклад.
89. Томчук А.В., Авдеев М.В., Малоугловое рассеяние диффузной поверхностью наноалмазов, II Международная конференция «Многомасштабное моделирование структур, строение вещества, наноматериалы и нанотехнологии», посвященная памяти профессора Никитина А.Н., 11-14 ноября 2013, Тула, Россия, устный доклад.
90. Tropin T.V., Jargalan N., Kyzyrna O.A., Avdeev M.V., Schmelzer J.W.P., Aksenov V.L., Kinetic effects in fullerene solutions. XVIIth Research Workshop «Nucleation Theory and Applications», 1-30 April, 2013, JINR, Dubna, Russia, oral report.
91. Hetmańczyk J., Hetmańczyk Ł., Migdał-Mikuli A., Mikuli E. “Phase transition, thermal properties and reorientational motions of NH<sub>3</sub> ligands in polycrystalline [Mn(NH<sub>3</sub>)<sub>6</sub>](ClO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>”, Международная конференция «The 2<sup>nd</sup> Central and Eastern European Conference on Thermal Analysis and Calorimetry», 27-30.08 2013, Вильнюс, Литва.
92. Hetmańczyk Ł., Hetmańczyk J., Migdał-Mikuli A., Mikuli E., „Thermal properties of [Ni(NH<sub>3</sub>)<sub>4</sub>](ReO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> and [Ni(NH<sub>3</sub>)<sub>6</sub>](ReO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>”, XIV Международная конференция по термическому анализу и калориметрии в России (RTAC - 2013), 23-29.09 2013, Санкт-Петербург, Россия.
93. Эрхан Р., «Monte Carlo simulations of a new primary neutron track for the neutron reflectometer REFLEX at the pulsed reactor IBR-2», International Workshop on Neutron Optics and Detectors (NOP&D 2013), 2-5 July 2013, Мюнхен, Германия.

### ОТДЕЛ КОМПЛЕКСА СПЕКТРОМЕТРОВ ИБР-2

94. Manoshin S., Belushkin A. and Loffe A., “VITESS polarized neutron suite” – you can simulate any polarized neutron instrument (in English), XLVII школа ФБГУ “ПИЯФ” по физике конденсированного состояния, ФКС-2013, 11-16 марта 2013, Санкт-Петербург, приглашенный доклад.
95. Morkovnikov I.A., Kirilov A.S. Upgrading WebSonix — remote instrument control system experiment on the IBR-2 reactor. XXIV International Symposium on Nuclear Electronics & Computing (Varna, 9-16 September, 2013), oral presentation.
96. Kirilov A.S., Veleshki S., Murashkevich S.M., Petukhova T.B. The unified GUI for neutron instrument control based on PyQt I bid, poster
97. Murashkevich S.M., Levchanovskiy F.V. A data acquisition system for neutron spectrometry - the new approach and the implementation I bid, poster.
98. MANOSHIN S., ERHAN R. V., KRUGLOV V., BELUSHKIN A., Monte Carlo simulations by VITESS software package for the implementation of time of flight focusing method at pulsed neutron sources, International Workshop on Neutron Optics and Detectors (NOP&D 2013). 2-5 July 2013, Munich (Ismaning), Germany, oral presentation
99. Ананьев В.Д., Беляков А.А., Булавин М.В., Верхоглядов А.Е., Кулагин Е.Н., Куликов С.А., Кустов А.А., Любимцев А.А., Мухин К.А., Петухова Т.Б., Сиротин А.П., Федоров А.Н., Шабалин Е.П., Шабалин Д.Е., Широков В.К. Первый в мире шариковый холодный замедлитель нейтронов (The World's First Pelletized Cold Neutron Moderator). Сообщение ОИАИ Рубцов А.Б., Маношин С.А., Боднарчук В.И. и Иоффе А., Нейтронное спин-эхо с использованием вращающихся магнитных полей, XLVII школа ФБГУ “ПИЯФ” по физике конденсированного состояния, ФКС-2013, 11-16 марта 2013 Санкт-Петербург, постер.
- 100.

### ОТДЕЛЕНИЕ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

101. Ahmadov G., Ahmadov F., Kopatch Yu., Telezhnikov S., Garibov A., Granja C., Pospisil S., “Demonstration of the time coincidence technique and the ΔE-E method in the timepix pixel detectors”, 21th International Seminar on Interaction of Neutrons with Nuclei: «Fundamental Interactions & Neutrons, Nuclear Structure, Ultra cold Neutrons, Related Topics, Alushta, Ukraine, May 20–25, 2013 <http://isinn.iinr.ru/>.
102. Aničić-Urošević M., Tomašević M., Vuković G., Frontasyeva M., Popović A.. Active moss biomonitring of airborne trace elements in the Belgrade urban area: State of the art. Book of Abstracts, The 6th Symposium of Environmental Chemistry, 21-24 May, 2013, Vrsac, Serbia. (Oral presentation)
103. Barandovski L., Stafilov T., Šajin R., Frontasyeva M.V., Bačeva K.. Air pollution study in macedonia by using moss biomonitring technique, ICP-AES AND AAS. Book of Abstracts, The 26th Task Force Meeting of UNECE ICP Vegetation, Halmstad, Sweden, January, 28-31, 2013. (Poster)
104. Bazhazhina N. V., Borzakov S. B., Mareev Yu. D., Pikelner L.B., Sedyshev P. V., Shvetsov V. N., Determination of B content in composite material by neutron spectroscopy. XXI International Seminar on Interaction of Neutrons with Nuclei - ISINN-21, 20 - 25 May, 2013, Alushta, Ukraine, poster report.
105. Bazhazhina N. V., Mareev Yu. D., Pikelner L. B., Sedyshev P. V., Shvetsov V. N., The analysis of element and isotope composition by neutron spectroscopy method. The XII-th International School-Seminar: The Actual Problems of Microworld Physics, July 22 - August 2, 2013, Gomel, Belarus, oral report.
106. Borzakov S.B., Gundorin N.A., Pokotilovski Yu.N., “Experimental Search for the Singlet Meta-stable Deuteron in the Radiative n-p Capture”, Report on ISINN-21, Alushta, Ukraine, May 20-25, 2013.
107. Cepoi L., Rudi L., Chiriac T., Valuta A., Zinicovscaia I., Mitina T., Duca Gh., Kirkesali E., Frontasyeva M.V., Pavlov S.S.. Microalgae as possible silver “nanofactories”. Book of Abstracts, 2nd International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering (ICBNME), April 18-20, 2013, Chişinău, Republic of Moldova, p. 433-434. (Oral presentation)

### 3. ПУБЛИКАЦИИ

108. Cucu-Man S., Frontasyeva M., Culicov O., Tarcau D., Steinnes E.. First results on atmospheric trace element deposition in Republic of Moldova based on biomonitoring using the moss *Hypnum cupressiforme*. Book of Abstracts, ISINN-21, May 20-25, 2013, Alushta, Ukraine. (Oral Presentation)
109. Dunaev A.M., Rumyantsev I.V., Frontasyeva M.V.. Atmospheric air contamination assessment in Ivanovo Region by means of combined analysis of snow and mosses. Book of Abstracts, ISINN-21, May 20-25, 2013, Alushta, Ukraine. (Oral Presentation)
110. Ene A., Gheorghies C., Ignatenko O., Frontasyeva M. V., X-ray techniques for materials characterization, IBWAP 2013, Constanta, Romania, 4-6 July 2013, Poster S5\_P08, Section 5-Engineering and Industrial Physics, Book of Abstracts, pp. 128-129. (Oral presentation)
111. Ene A., Frontasyeva M.V., Popescu I.V., Stihl C., Andreea E., Drasovean R., Chelarescu E.D., Applications of INAA and X-ray based techniques for trace element analysis in materials and environmental sciences, acceptată pentru prezentare la: 21st International Seminar on Interaction of Neutrons with Nuclei: Fundamental Interactions & Neutrons, Nuclear Structure, Ultracold Neutrons, Related Topics (ISINN-21), section "Nuclear and related analytical techniques in the environmental and material sciences", Alushta, Ukraine, May 20-25, 2013, Poster 73, Abstracts of the seminar, Dubna 2013, p.31. <http://isinn.jinr.ru> (Oral presentation)
112. Ene A., Moraru L., Dănilă Emilian, Cioară Liliana, Study of Characteristic X-ray Spectra Induced in Complex Matrices by Radioisotope and Electron Excitation, Scientific Conference of Doctoral Schools from UDJ Galati (CSSD-UDJG 2013), First Edition, 16-17 May 2013, Poster P4.1, Book of Abstracts, p. 83-84, Annals of the University Dunarea de Jos of Galati, Fascicle II - Mathematics, Physics, Theoretical Mechanics, FASCICLE II, YEAR V (XXXVI) 2013, 40-43. (Oral presentation)
113. Ene A., Frontasyeva M.V., Strelkova L.P., Pavlov S.S.. Occurrence of heavy metals and other trace elements in industrially contaminated soils studied by neutron activation analysis. Book of Abstracts, ISINN-21, May 20-25, 2013, Alushta, Ukraine. (Poster)
114. Ene A., Frontasyeva M. V., Neutron activation analysis as a tool for material and environmental research, EUROANALYSIS 2013, Warsaw, Poland, 24-28 August 2013, article ID 0324, Book of Abstracts, p.598, ISBN 978-83-7798-089-7. <http://www.euroanalysis2013.pl/> (Oral presentation)
115. Ene A., Frontasyeva M. V., Neutron activation analysis for characterization of metallurgical and environmental materials, 25th International Nuclear Physics Conference INPC2013: 2-7 June 2013, Firenze, Italy, Book of Abstracts, section 10- Nuclear Physics Based Applications, paper AP\_013. <http://agenda.infn.it/conferenceDisplay.py/getPic?picId=10&confId=5998> (Poster)
116. Enik T. L., Likhachev A. N., Mitsyna L. V., Popov A. B., Salamatin I. M., Sirotin A. P. AURA setup testing at the IREN neutron beam. XX I International Seminar on Interaction of Neutron with Nuclei. Alushta, Ukraine, May 20 – 25, 2013, poster report.
117. Frank A.I. Gas detector with solid Boron-10 converter for UCN time-of-flight spectrometry (International Workshop on Neutron Optics and Detectors (NOP&D 2013). 2-5 July 2013, Munich (Ismaning), Germany. Poster report.
118. Frank A.I. Goos – Haenchen effect in neutron optic. ISINN-21, Alushta, Ukraine, 05/2013. Oral report.
119. Frank A.I. Neutron gravity experiments and tests of the Weak Equivalence Principle. ESS Science Symposium in Neutron Particle Physics at long pulse spallation source. Grenoble, France 25-27 March 2013.
120. Frank A.I. On the Goos – Hänchen effect in neutron optics. International Workshop on Neutron Optics and Detectors (NOP&D 2013). 2-5 July 2013, Munich (Ismaning), Germany. Oral report.
121. Frank A.I. On the validity of the potential -like dispersion law for neutrons in the matter moving with giant acceleration. ISINN-21, Alushta, Ukraine, 05/2013. ISINN 21. Oral report.
122. Frank A.I. Phase diffraction gratings for the neutron energy transformation NOP&D 2013, Munich (Ismaning), 07/2013, Poster report.
123. Frank A.I. Phase diffraction gratings for the transformation of neutron energy. Third workshop on physics of fundamental symmetries and interactions at the Paul Scherrer Institut, PSI2013. Switzerland, September 9 - 12, 2013. Oral report.
124. Frontasyeva M.V. Neutron activation analysis and electron scanning microscopy of samples from the Aktru Glacier (Altaj). Seminar of GAISH MSU "Investigation of cosmic dust from metascience point of view". Moscow, October 8, 2013. [http://cosmos-mentality.ru/index.php?option=com\\_content&task=view&id=779&Itemid=50](http://cosmos-mentality.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=779&Itemid=50) Фронтасьева М.В.. Нейтронный активационный анализ и электронная сканирующая микроскопия образцов с ледника Актру (Алтай). Семинар ГАИШ МГУ «Исследование космической пыли с метанаучных позиций». Москва, 8 октября 2013 г. (Oral presentation)
125. Frontasyeva M.V. The 50th anniversary of reactor neutron activation analysis at FLNP JINR. Book of Abstracts, ISINN-21, May 20-25, 2013, Alushta, Ukraine. (Oral presentation)
126. Gledenov Yu. M., Sedysheva M. V., Stolupin V. A., Zhang Guohui, Han Jinhua, Liu Xiang, Fan Xiao, Chen Jinxiang, Khuukhenkhuu G., Szalanski P. J., «<sup>57</sup>Fe(n, $\alpha$ )<sup>54</sup>Cr cross sections in the MeV region», XXI International Seminar on Interaction of Neutrons with Nuclei, 20-25 May, 2013, Alushta, Ukraine, oral report.
127. Gorelova S.V., Gorbunov A.V., Lyapunov S.M., Okina O.I., Frontasyeva M.V.. Nuclear and related analytical techniques used to study elemental content of some exotic woody species under intense technogenic pollution in urban ecosystem of non-chernozem zone of Russia. Book of Abstracts, ISINN-21, May 20-25, 2013, Alushta, Ukraine. (Oral presentation)
128. Goryainova Z., Bezuidenhout J., Frontasyeva M.V., Pavlov D. F., Zinikovskaia I., Ntombizikhona Beaulah Ndlovu. Bivalve mussels in biomonitoring of the South African Atlantic coastal waters. International Seminar on Interaction of Neutrons with Nuclei: Neutron Spectroscopy, Nuclear Structure, Related Topics, May 20-25, 2013, Alushta, Ukraine. (Oral presentation)
129. Goryainova Z., Bezuidenhout J., Frontasyeva M.V., Pavlov D.F.. Bivalve mussels in biomonitoring of the South African Atlantic coastal waters. the Programme Advisory Committee for Nuclear Physics 38th meeting, 20–21 June 2013, Dubna, Russia. (Poster)
130. Goryainova Z., Bezuidenhout J., Frontasyeva M.V., Pavlov D.F.. Bivalve mussels in biomonitoring of the South African Atlantic coastal waters. JINR Scientific Council, September 19-20, 2013, Dubna, Russia. (Oral presentation)
131. Goryunov S.V. Gas detector with solid Boron-10 converter for UCN time-of-flight spectrometry. ISINN-21, Alushta, Ukraine, 05/2013, oral report.

132. Grozdanov D., Ruskov I., Janeva N., Kopach Yu.N., Negovellov S.I., Mareev Yu.D., Determination of dead-time losses in a NaI(Tl) gamma-ray spectrometer, International Seminar on Interaction of Neutrons with Nuclei - ISINN-21, 20 - 25 May, 2013, Alushta, Ukraine, poster report.
133. Ignatovich V. K., Density Matrix in Quantum Mechanics. Third International Conference on Theoretical Physics, Moscow State Open University, Москва, РФ, oral report
134. Ignatovich V. K., Diffraction off a crystalline plane as another example of contradictions in the quantum scattering theory. XXI International Seminar on Interaction of Neutrons with Nuclei - ISINN-21, 20 - 25 May, 2013, Alushta, Ukraine, oral report.
135. Ignatovich V. K., EPR paradox and a neutron experiment to reject it. XXI International Seminar on Interaction of Neutrons with Nuclei - ISINN-21, 20 - 25 May, 2013, Alushta, Ukraine, oral report.
136. Khuukhenkhuu G., Gledenov Yu. M., Sedysheva M. V., Odsuren M., Munkhsaikhan J., «Statistical Model Analysis of Averaged Over the Fission Neutron Spectrum (n,α) and (n,p) Cross Sections», XXI International Seminar on Interaction of Neutrons with Nuclei, 20-25 May, 2013, Alushta, Ukraine, poster report.
137. Kravtsova A.V., Milchkova N.A., Frontasyeva M.V., Dmitriev A.Yu.. Multielement instrumental neutron activation analysis of macroalgae cystoseira used as biomonitor of the Black Sea coastal waters in Sevastopol region. Book of Abstracts, ISINN-21, May 20-25, 2013, Alushta, Ukraine. (Oral presentation)
138. Kulin G.V. Status of new experiment for test of the equivalence principle with UCN. ISINN-21, Alushta, Ukraine, 05/2013, oral report.
139. Lazo P., Stafilov T., Frontasyeva M.V., Quarri F., Bekteshi L., Terpol M., Gjika I., Braceva K., Goryainova Z. Preliminary study in trace metals atmospheric deposition in Albania. Book of Abstracts, The 26th Task Force Meeting of UNECE ICP Vegetation, Halmstad, Sweden, January, 28-31, 2013. (Oral presentation)
140. Maňková B., Oszlányi J., Tučeková A., Frontasyeva M.V., Andráš P., Dubiel J.. Bryomonitoring in Slovakia: past, present and future. Book of Abstracts, The 26th Task Force Meeting of UNECE ICP Vegetation, Halmstad, Sweden, January, 28-31, 2013. (Poster)
141. Maňková B., Oszlányi J., Tučeková A., Andráš P., Dubiel J., Frontasyeva M.V., Pavlov S. S., Florek M., Holý K.. Results of cooperation between Slovakia and FLNP JINR in the environmental research (2000-2013). Book of Abstracts, ISINN-21, May 20-25, 2013, Alushta, Ukraine. (Poster)
142. Maňková B., Oszlányi J., Izakovičová Z., Tučeková A.. Temporal and spatial trends (1990- 2010) of heavy metal accumulation in mosses in Slovakia. Book of Abstracts, ISINN-21, May 20-25, 2013, Alushta, Ukraine. (Poster)
143. Ntombizikhona Beaulah Ndlovu, Frontasyeva M.V., Newman R.T., Maleka P.P.. Emissions of Trace Elements from Motor Vehicles Monitored by Active Biomonitoring: a tunnel study in the Western Cape, South Africa using ICP-MS and neutron activation. 58th Annual Conference of the South African Institute of Physics, July 08-12, 2013, University of Zululand, South Africa. (Oral presentation)
144. Ntombizikhona Beaulah Ndlovu, Frontasyeva M.V., Newman R.T., Maleka P.P.. Comparison of two Software Packages for High Resolution Gamma Spectrometry Used for Neutron Activation Analysis of Biomonitors. 58th Annual Conference of the South African Institute of Physics, July 08-12, 2013, University of Zululand, South Africa. (Oral presentation)
145. Pantelica A., Georgescu I.I., Pincovski E., Frontasyeva M.V., Contamination of floodable soil downstream of a fertilizer plant determined by INAA, 21th International Seminar on Interaction of Neutrons with Nuclei (ISINN-21), Alushta, Ukraine, May 20-25, 2013. (Oral presentation)
146. Pantelica A., Frontasyeva M.V., Culicov O.A., Neutron activation analysis at IFIN-HH Bucharest and JINR Dubna - collaborative studies, 21th International Seminar on Interaction of Neutrons with Nuclei (ISINN-21), Alushta, Ukraine, May 20-25, 2013. (Oral presentation)
147. Pavlov D.F., Frontasyeva M.V., Bezuidenhout J., Goryainova Z. I. Contents of chemical elements in the tissues of non-indigenous species, Mediterranean mussels and Pacific oysters in the South African coastal waters: potential impact upon water quality and implications for environmental impact assessment. Book of Abstracts, IV International Symposium. ALIEN SPECIES IN HOLARCTIC, (BOROK- 4), September 22-28, 2013, Borok, Yaroslavl Region, Russia. (Oral presentation)
148. Pavlov D.F., Bezuidenhout J., Frontasyeva M. V., Goryaynova Z.I.. Contents of Chemical Elements in the Tissues of Invasive Black Mussel and Farmed Pacific Oysters in the South African Coastal Waters: Potential Implication for Environmental Impact Assessment and Water Quality. «IV International Symposium "Invasion of alien species in Holarctic. Borok-4», September 22-28th, 2013, Borok, Russia. (Oral presentation)
149. Popescu I., Frontasyeva M.V., Stih C., Ene A., Cucu-Man S., Todoran R., Culicov O., Zinicovscaia I., Trinh My, Pavlov S.S., Radulescu C., Chilian A., Gheboianu A., Bancuta R., Cimpoa Gh., Bancuta I., Dulama I., Toma L.G., Bucurica A., Dima G., Chelarescu E.D., Drasovean R., Sion A., Condurache-Bota S., Buhaceanu R., Tarcau D., Todoran D. Moss biomonitoring of air quality in Romania. Book of Abstracts, ISINN-21, May 20-25, 2013, Alushta, Ukraine. (Poster)
150. Popescu V. I, Frontasyeva M., Stih C., Ene A., Cucu-Man S., Todoran R., Culicov O., Zinicovscaia I., My Trinh, Pavlov S.S., Radulescu C., Chilian A., Gheboianu A., Bancuta R., Cimpoa Gh. V., Bancuta I., Dulama I., Toma L.G., Bucurica A., Dima G., Chelarescu E.D., Drasovean R., Sion A., Condurache-Bota S., Buhaceanu R., Tarcau D., Todoran D., Moss biomonitoring of air quality in Romania, 13th International Balkan Workshop on Applied Physics (IBWAP 2013), Constanta, Romania, 4-6 July 2013, S5\_P9, Section 5-Engineering and Industrial Physics, Book of Abstracts, p.129. (Poster)
151. Rumyantsev I.V., Dunaev A.M., Frontasyeva M.V., Ostrovnyaya T.M.. Interspecies comparison of elemental content in moss from Ivanovo Region determined by NAA and AAS. Book of Abstracts, ISINN-21, May 20-25, 2013, Alushta, Ukraine. (Oral presentation)
152. Ruskov I., Kopach Yu. N., Skoy V., Hamsch F.-J., Oberstedt S., A multi-detector NaI(Tl) gamma-ray spectrometry system for investigation of neutron induced capture and fission reactions, GAMMA-2 Scientific Workshop on the Emission of Prompt Gamma Rays in Fission and Related Topics, 24-26. 09. 2013, Srimski Karlovci, Republic of Serbia, Приглашенный доклад.
153. Salamatin I. M., Salamatin K. M. Development of Component System for Neutrons Spectrometry Automation Through the Use of Network Technologies XXI International Seminar on Interaction of Neutrons with Nuclei - ISINN-21, 20 - 25 May, 2013, Alushta, Ukraine, poster report.
154. Skoy V. R., Kopatch Yu. N., Ruskov I. Multicrystal scintillation detector for applied and fundamental

### 3. ПУБЛИКАЦИИ

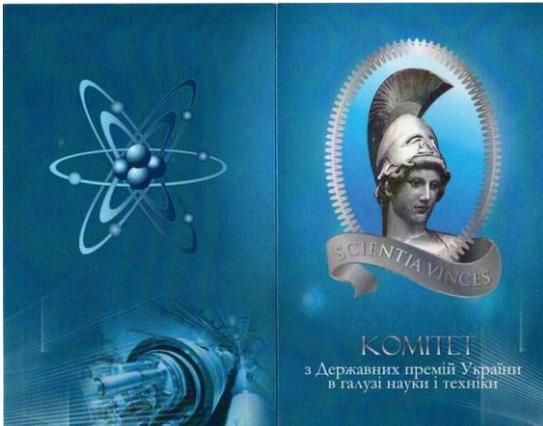
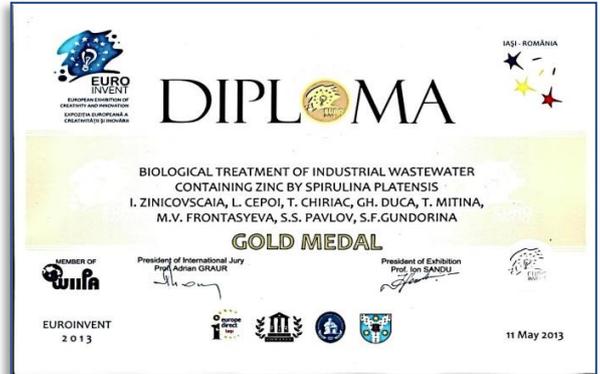
- neutron research. XXI International Seminar on Interaction of Neutrons with Nuclei - ISINN-21, 20 - 25 May, 2013, Alushta, Ukraine, oral report.
155. Spiric Z., Stafilov T., Kuzan V., Vuckovic I., Frontasyeva M.. CRO moss survey 2010 – preliminary results. Book of Abstracts, The 26th Task Force Meeting of UNECE ICP Vegetation, Halmstad, Sweden, January, 28-31, 2013. (Oral presentation)
156. Stihi C., Popescu I.V., Frontasyeva M. V., Radulescu C., Ene A., Cucu-Man S., Todoran R., Culicov O., Moss biomonitoring of heavy metals atmospheric deposition in Romania, EUROANALYSIS 2013, Warsaw, Poland, 25-29 August 2013, article ID 0103, Book of Abstracts, p.201, ISBN 978-83-7798-089-7. <http://www.euroanalysis2013.pl/>. (Poster)
157. Sukhovej A. M., Khitrov V. A. Possibility, necessary basis and specificity for development of perspective practical model of arbitrary nucleus compound state decay. XXI International Seminar on Interaction of Neutrons with Nuclei - ISINN-21, 20 - 25 May, 2013, Alushta, Ukraine, oral report.
158. Sukhovej A. M., Khitrov V. A. The problems of determination of vibrational level density in the framework of the exciting model notations below  $B_n$ . XXI International Seminar on Interaction of Neutrons with Nuclei - ISINN-21, 20 - 25 May, 2013, Alushta, Ukraine, poster report.
159. Tsulaia M.I., Salamatin I.M., Sirotn A.P., Pikelner T.L., Mareev Y.D., Berikov D. The Kolkhida setup upgrade. International Seminar on Interaction of Neutrons with Nuclei - ISINN-21, 20 - 25 May, 2013, Alushta, Ukraine, poster report.
160. Vesna V. A., Gledenov Yu. M., Nesvizhevsky V. V., Sedyshev P. V., Shulgina E. V. Measurement of the left-right asymmetry in the integrated  $\gamma$ -spectrum in the interaction of the nuclei with polarized thermal neutrons. XXI International Seminar on Interaction of Neutrons with Nuclei - ISINN-21, 20 - 25 May, 2013, Alushta, Ukraine, oral report
161. Zeinalov Sh, Zeinalova O., Sedyshev P., Shvetsov V. Novel approach to prompt fission neutron investigation. XXI International Seminar on Interaction of Neutrons with Nuclei - ISINN-21, 20 - 25 May, 2013, Alushta, Ukraine, oral report.
162. Zeynalov Sh., Zeynalova O., Hamsch F.-J., Sedyshev P., Shvetsov V. Ionisation chamber for prompt fission neutron investigations. Gamma-2, Scientific Workshop on the Emission of Prompt Gamma-Rays in Fission and Related Topics. 24-26 September 2013, Novi Sad, Republic of Serbia, invited report. Gledenov Yu. M., «Investigation of (n, $\alpha$ ) Reaction for Heavy Elements in the MeV Neutron Energy Region», The 5th International Conference on Contemporary Physics (ICCP-V), Ulaanbaatar, Mongolia, 3-6 June 2013. Invited report
163. Zinicovscaia I., Duca Gh., Cepoi L., Chiriac T., Rudi L., Mitina T., Frontasyeva M.V., Pavlov S.S., Gundorina S.F.. Spirulina platensis as biosorbent of zinc in wastewater. Book of Abstracts, ECOIMPULS 2012 - Environmental Research and Technology, October 25–26, 2012, Timisoara, Romania, p. 26. (Oral presentation)
164. Zinicovscaia I., Duca Gh., Cepoi L., Chiriac T., Rudi L., Mitina T., Frontasyeva M. V., Culicov O., Kirkesali E., Pavlov S. S., Gundorina S. F., Akshintsev A.. Biosorption of zinc, chromium and nickel from wastewater by microalgae Spirulina platensis. Book of Abstracts, 1stEuChemMS Congress on Green and Sustainable Chemistry, October 13-15, 2013, Budapest, Hungary, p. 44. (Oral presentation)
165. Zinicovscaia I., Duca Gh., Rudic V., Cepoi L., Chiriac T., Frontasyeva, Pavlov S. S., Gundorina S. F.. Biotechnology of metal removal from industrial wastewater: zinc case study. Book of Abstracts, ISINN-21, May 21-26, 2013, Alushta, Ukraine, p.90. (Oral presentation)
166. Zinicovscaia I., Cepoi L., Chiriac T., Duca Gh., Kirkesali E., Frontasyeva M.V., Pavlov S.S. Microalgae as possible silver “nanofactories”. International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering, Chisinau, Moldova, April 18-20, 2013. (Oral presentation)
167. Zinicovscaia I., Cepoi L., Chiriac, Duca Gh., Mitina T., Frontasyeva M.V., Pavlov S.S., Gundorina S.F.. Biological treatment of industrial wastewater containing zinc by Spirulina platensis. Book of Abstracts, European Exhibition of Creativity and Innovation, EUROINVENT, May 9-11, 2013, Iasi, Romania, p. 115. (Poster)
168. Франк А.И. Эффект Гуса-Хенхен в нейтронной оптике. XLVII Зимняя школа ПИЯФ. Приглашенный доклад.

## 4. ПРЕМИИ И СТИПЕНДИИ

### РАЗНОЕ

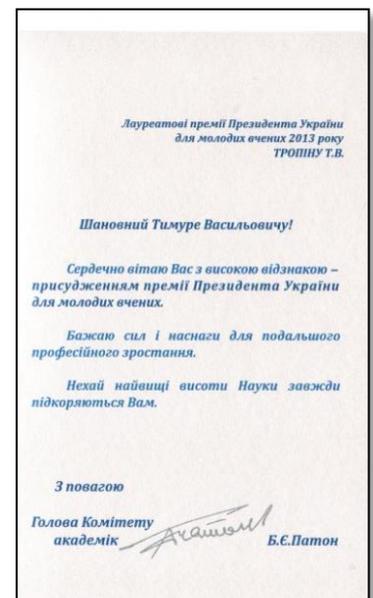
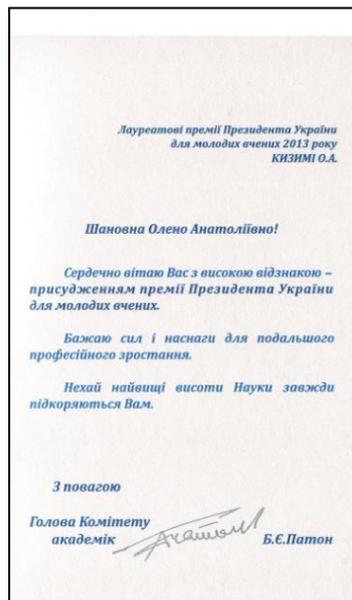
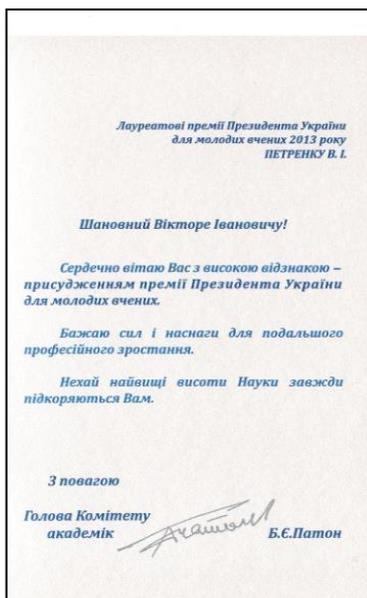
#### И. Зиньковска

На 5-й Европейской выставке творчества и инноваций (9-11 май 2013, Иаси, Румыния) молодой ученый ЛНФ ОИЯИ из Молдовы (Институт химических Исследований Академии наук Молдовы, Кишинев, Молдова), **Инга Зиньковска**, получила золотую медаль



#### В.И. Петренко, О.А. Кизима, Т.В. Тропин

Лауреатами премии Президента Украины для молодых ученых в 2013 году стали сотрудники Группы физики поверхностей НЭОНИКС ОНИРКС ЛНФ ОИЯИ: **Виктор И. Петренко, Олена А. Кизима и Тимур В. Тропин**.



## 4. ПРЕМИИ И СТИПЕНДИИ



### **И.В. Папушкин**

Проект «Нейтронные исследования остаточного напряженного состояния конструкционных материалов и изделий в целях повышения безопасности их эксплуатации» инженера Научно-экспериментального отдела нейтронных исследований конденсированных сред ОНИРКС ЛНФ ОИЯИ **Игора В. Папушкина** был награжден дипломом в Московском областном конкурсе «На лучший

инновационный проект среди выпускников Президентской программы подготовки управленческих кадров в Московской области» в номинации «Научно-исследовательская работа». **Игор В. Папушкин** победил тоже в конкурсе «Наше Подмосковье» в номинации «Нейтронные исследования остаточного напряженного состояния конструкционных материалов и изделий из них в целях повышения конкурентоспособности машиностроительных предприятий России»

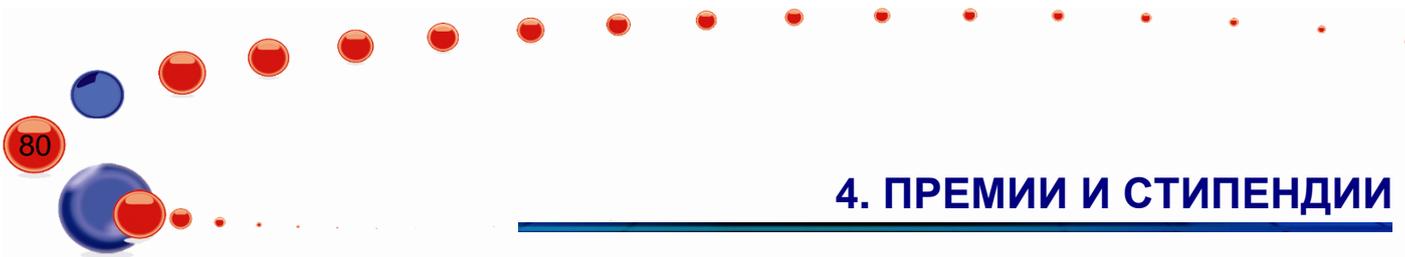
На сессии ПКК по физике конденсированных сред проводился конкурс на лучший стендовый доклад среди молодых ученых. Доклад **Н. Жаргалана** «Кинетика роста кластеров в полярных растворах фуллеренов: исследование раствора  $C_{60}/NMP$ » был избранным самым лучшим стендовым докладом. Второе и третье место получили: **А.В. Чураков** «Измерения профилей нейтронных пучков на реакторе ИБР-2» и **С. Джабаров** «Индукцированные давлением изменения в сегнетоэлектриках со структурой перовскита».



### СТИПЕНДИИ ОИЯИ И ЛНФ

В рамках конкурса организованного Объединением молодых ученых и специалистов ОИЯИ гранты молодых ученых и специалистов получили в 2013 г.:

1. для молодых научных сотрудников с ученой степенью:  
**Бобриков И. А., Кичанов С. Е., Соловьев Д. В.**
2. для молодых научных сотрудников:  
**Верхоглядоев А. Е., Горяйнова З. И., Зиньковская И. И., Кулин Г. В., Лучиньска К.**
3. для молодых специалистов:  
**Булавин М. В., Булычева Ю. К., Кутергин А. В., Мухин К. А., Удовиченко К. В.**
4. для молодых рабочих:  
**Кокунов Д. В., Мотчев М. А., Покровский С. В.**



## 4. ПРЕМИИ И СТИПЕНДИИ

С 2002 г. в ЛНФ присуждается стипендия имени академика СССР и первого директора ЛНФ И.М.Франка с целью стимулирования научных и методических исследований молодых ученых. В 2013 г. **стипендия им. И.М.Франка** присуждена:

- В области ядерной физики  
**К. Н. Вергель**
- В области физики конденсированного состояния  
**Е.В. Лукин**
- В области методических исследований:  
**В.М. Милков**

С 2006 г. в ЛНФ ежегодно присуждается стипендия имени выдающегося ученого, члена-корреспондента АН СССР Ф.Л. Шапиро. Стипендия присуждается по направлениям: физика УХН, поляризованные нейтроны и нейтронная спектроскопия.

В 2013 г. стипендия им. Ф.Л.Шапиро присуждена:

- По направлению «Физика конденсированного состояния»  
**И. В. Папушкин**
- По направлению «Нейтронная спектроскопия»  
**С.В. Горюнов**

### ПРЕМИЯ ОИЯИ

Премия ОИЯИ присуждается ежегодно за лучшие научные, научно-методические и научно-технические прикладные работы. В 2013 следующие научные работы, представленные сотрудниками ЛНФ, удостоены премий ОИЯИ:

#### В области экспериментальной физики:

##### Вторая премия

«Каналирование нейтронов в слоистых структурах и его использование для создания метода зондовой нейтронной микроскопии».

Авторы: В.К. Игнатович, С.В. Кожевников, Ю.В. Никитенко, Т. Келлер, Ф. Отт, Ф. Раду, А. Рюм, А. Тьявиль, Ю.Н. Хайдуков.

#### В области научно-методических исследований:

##### Вторая премия

«Создание шарикового холодного замедлителя нейтронов для реактора ИБР-2».

Авторы: В.Д. Ананьев, А.А. Беляков, М.В. Булавин, А.Е. Верховлядов, Е.Н. Кулагин, С.А. Куликов, А.А. Кустов, К.А. Мухин, И. Натканец, Е.П. Шабалин.