

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»**

Федеральное государственное бюджетное учреждение
«ПЕТЕРБУРГСКИЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ
им. Б.П. КОНСТАНТИНОВА»

**XXII Международное совещание и
Международная молодежная конференция
«Использование рассеяния нейтронов
в исследованиях конденсированного состояния»**

РНИКС-2012
15–19 октября 2012 г., Санкт-Петербург

**Программа, сборник тезисов
и список участников**

УДК 529.171.018

В данном выпуске представлены аннотации докладов, программа и состав участников XXII Международного совещания и Международной молодежной конференции «Использование рассеяния нейтронов в исследованиях конденсированного состояния» (РНИКС-2012), 15–19 октября 2012 г., Санкт-Петербург.

This edition presents abstracts of the reports, program and the contact information of the participants of the XXII International conference and International youth conference “Use of scattering neutrons in condensed state research” (SNCSR-2012). (15–19 of October, 2012, St. Petersburg).

Проведению Совещания и Молодежной конференции оказали поддержку:

**Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Петербургский институт
ядерной физики им. Б.П. Константинова»
Российский фонд фундаментальных исследований**

Сборник подготовили А.И. Окроков и К.В. Воронина

Примечание: Программа составлена по информации на 19.09.2012, и в ней возможны изменения по факту присутствия лекторов на Совещании.

Тезисы напечатаны без какой-либо редакции издательством. Орфография и пунктуация авторов сохранены.

© ФГБУ «ПИЯФ», 2012

Оглавление

ПРОГРАММА	4
ПОНЕДЕЛЬНИК, 15 ОКТЯБРЯ 2012 ГОДА	14
ВТОРНИК, 16 ОКТЯБРЯ 2012 ГОДА	16
Сессия I: Кристаллические и магнитные структуры	16
Сессия II: Элементарные возбуждения	22
Сессия IIa: Биологические системы	28
Сессия III: Магнетизм и поляризованные нейтроны	36
СРЕДА, 17 ОКТЯБРЯ 2012 ГОДА.....	43
Сессия IV: Сильно коррелированные электронные системы	43
Сессия V: Некристаллические материалы, полимеры и жидкости	48
Сессия Va: Кристаллические и магнитные структуры	53
Сессия VI: Биологические системы	61
ЧЕТВЕРГ, 18 ОКТЯБРЯ 2012 ГОДА.....	66
Сессия VII: Слоистые структуры, тонкие пленки и поверхности	66
Сессия VIII: Фундаментальные взаимодействия и свойства нейтрона .	70
Сессия VIIa: Нано-материалы.....	73
Сессия IX: Источники нейтронов I.....	81
Сессия IX: Источники нейтронов II	84
ПЯТНИЦА, 19 ОКТЯБРЯ 2012 ГОДА	87
Сессия X: Приборы и методика нейтронного эксперимента.....	87
Сессия XI: Функциональные материалы.....	91
Сессия XIa: Приборы и методика нейтронного эксперимента.....	99
Сессия XII: Комплементарные нейтронные и синхротронные исследования вещества.....	107
СЕССИЯ СТЕНДОВЫХ ДОКЛАДОВ 1	109
СЕССИЯ СТЕНДОВЫХ ДОКЛАДОВ 2	148
СПИСОК УЧАСТНИКОВ.....	199

Программа

Понедельник, 15 октября 2012 года

12⁰⁰ – 15⁰⁰ Заезд в отель, регистрация участников

13⁰⁰ – 15⁰⁰ Обед

15⁰⁰ – 15¹⁰ **Открытие совещания**
Председатели: М.В. Ковальчук (НИЦ КИ), В.Л. Аксенов (ПИЯФ НИЦ КИ)

15¹⁰ – 16⁰⁰ Конвергенция наук – от неживого к живому
М.В. Ковальчук (НИЦ КИ)

16⁰⁰ – 16³⁰ Чай, кофе

16³⁰ – 17¹⁵ Реакторный комплекс ПИК и перспективы его развития
В.Л. Аксенов (ПИЯФ НИЦ КИ), М.В. Ковальчук (НИЦ КИ)

17¹⁵ – 7⁴⁵ Приборная база модернизированного реактора ИБР-2
Д.П. Козленко (ОИЯИ) приглашенный доклад

17⁴⁵ – 18¹⁵ Нейтрон-синхротронные исследования в НИЦ «Курчатовский Институт»
В.А. Соменков (НИЦ КИ) приглашенный доклад

18¹⁵ – 18³⁰ Структурные деформации в системе метастабильных кубических соединений $\text{Ni}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$ ($0.01 \leq x \leq 0.4$)
С.Ф. Дубинин (ИФМ УрО РАН)

18³⁰ – 19⁰⁰ 20 лет Будапештскому реактору
Л. Рошта (KFKI, Будапешт) приглашенный доклад

19⁰⁰ – 20⁰⁰ Ужин

20⁰⁰ – 22⁰⁰ Прием по поводу открытия РНИКС-2012

Вторник, 16 октября 2012 года

8⁰⁰ – 9⁰⁰ Завтрак

9⁰⁰ – 11⁰⁰ **Сессия I: Кристаллические и магнитные структуры**
Председатель: Ю.П. Черненко (ПИЯФ НИЦ КИ)

9⁰⁰ – 9³⁰ Нейтронографические исследования би-магнитных наносистем "ядро-оболочка"

И.В. Голосовский (ПИЯФ НИЦ КИ) приглашенный доклад

9³⁰ – 9⁵⁰ Нейтронографические исследования структуры материалов магнитоэлектроники при высоких давлениях

О.Л. Макарова (НИЦ КИ)

9⁵⁰ – 10¹⁰ Кристаллическая и магнитная структура нового смешанновалентного соединения $\text{LiMn}_2\text{TeO}_6$

В.Б. Налбандян (ЮФУ)

- 10¹⁰ – 10²⁵ Локальная нестабильность кристаллической решётки полупроводниковых соединений A^(II)B^(VI):M (M=3d- ион) в модификации сфалерита
В.И. Максимов (ИФМ УрО РАН)
- 10²⁵ – 10⁴⁰ Анализ путей проводимости катионов К в KFeO₂ с помощью программы ТОПОС на основе кристаллографических данных в широком температурном интервале
В.И. Воронин (ИФМ УрО РАН)
- 10⁴⁰ – 11⁰⁰ Дифракционные исследования орторомбической фазы NiF₂ в эпитаксиальных гетероструктурах на Si(111)
Ю.П. Черненко (ПИЯФ НИЦ КИ)

11⁰⁰ – 11³⁰ Чай, кофе

- 11³⁰ – 13³⁰ **Сессия II: Элементарные возбуждения**
Председатель: П.А. Алексеев (НИЦ КИ)
- 11³⁰ – 12⁰⁰ Polarized neutron spectroscopy in quest of the nature of unconventional superconductivity
Иржи Кулда (ILL, Гренобль) приглашенный доклад
- 12⁰⁰ – 12³⁰ Спектроскопия магнитных возбуждений в EuCu₂(Si_xGe_{1-x})₂: от f-электронной нестабильности к магнитному порядку
П.А. Алексеев (НИЦ КИ) приглашенный доклад
- 12³⁰ – 12⁴⁵ Атомная динамика нанометровых частиц олова, внедренного в пористое стекло
П.П. Паршин (НИЦ КИ)
- 12⁴⁵ – 13⁰⁰ Elementary excitations in Me_{1-x}(NH₄)_xY (Me=K, Rb; Y=Cl, Br, I) mixed crystals by Inelastic Incoherent Neutron Scattering
L.S. Smirnov (ИТЭФ НИЦ КИ)
- 13⁰⁰ – 13¹⁵ Перспективы нейтронной спектроскопии генерируемых ультразвуком и гиперзвуком связанных мультифононных солитонов и бисолитонов нового типа
А.В. Орлов (ГНЦ РФ ФЭИ)
- 13¹⁵ – 13³⁰ Спиральные магнитные структуры в кубических перовскитах
С.М. Дунаевский (ПИЯФ НИЦ КИ)

Параллельная молодежная сессия (в малом зале)

- 11³⁰ – 13³⁰ **Сессия IIa: Биологические системы. Некристаллические материалы, полимеры и жидкости**
Председатель: М.В. Авдеев (ОИЯИ)
- 11³⁰ – 11⁴⁵ Исследование внутренней структуры аморфных сферических микрочастиц SiO₂ методами малоуглового рассеяния нейтронов и синхротронного излучения
К.В. Воронина (ПИЯФ НИЦ КИ)
- 11⁴⁵ – 12⁰⁰ Исследование мезоструктуры биоактивных покрытий для каменных материалов на основе эпоксисилоксановых золь-гелей, модифицированных наноалмазами
Т.В. Хамова (ИХС РАН)

- 12⁰⁰ – 12¹⁵ Структура и свойства агрегатов фоточувствительного поверхностно-активного вещества АзоТАБ в растворе и его комплексов с РНК
Т.Н. Муругова (ОИЯИ)
- 12¹⁵ – 12³⁰ Исследование модельных липидных мембран на основе церамида 6 с помощью дифракции синхротронного излучения
А.Ю. Грузинов (НИЦ КИ)
- 12³⁰ – 12⁴⁵ Моделирование данных малоуглового нейтронного рассеяния и нейтронного спин-эхо при исследовании биомакромолекул методами молекулярной динамики
А.В. Швецов (ПИЯФ НИЦ КИ)
- 12⁴⁵ – 13⁰⁰ Моделирование МУРН с использованием данных метода молекулярной динамики. Растворы насыщенных монокарбоновых кислот
Р.А. Еремин (ОИЯИ)
- 13⁰⁰ – 13¹⁵ Анализ данных нейтронной спектроскопии аморфных сплавов Zr-Be
Н.А. Клименко (НИЯУ МИФИ)
- 13¹⁵ – 13³⁰ Динамика молекулы воды, адсорбированной кремнеземом и смолой SGK-7
Л.А. Сахарова (НИЯУ МИФИ)

13³⁰ – 15⁰⁰ Обед

15⁰⁰ – 17⁰⁵ Сессия III: Магнетизм и поляризованные нейтроны
Председатель: А.И. Огороков (ПИЯФ НИЦ КИ)

- 15⁰⁰ – 15³⁰ Чему нас научил MnSi
С.В. Малеев (ПИЯФ НИЦ КИ) приглашенный доклад
- 15³⁰ – 15⁴⁵ Исследование квантовой критичности в Mn[1-x]Fe[x]Si с помощью МУРПН
Е.В. Москвин (ПИЯФ НИЦ КИ)
- 15⁴⁵ – 16⁰⁵ Двумерная Гексагональная Спиновая Сверхструктура А-фазы в MnSi
С.В. Григорьев (ПИЯФ НИЦ КИ)
- 16⁰⁵ – 16²⁰ Некоторые аспекты применения метода малоуглового рассеяния поляризованных нейтронов в изучении функциональных материалов.
В.В. Рунов (ПИЯФ НИЦ КИ)
- 16²⁰ – 16³⁵ Применение поляризованного микропучка нейтронов для исследования магнитной микроструктуры
С.В. Кожевников (ОИЯИ)
- 16³⁵ – 16⁵⁰ Температурный гистерезис магнитных фазовых переходов в Tb_(1-x)Ce_xMn₂O₅ (x=0.2, 0.25)
И.А. Зобкало (ПИЯФ НИЦ КИ)
- 16⁵⁰ – 17⁰⁵ Нематическая спиновая фаза в квазиодномерном фрустрированном магнетике, находящемся в сильном магнитном поле
А.В. Сыромятников (ПИЯФ НИЦ КИ)

17⁰⁵ – 17³⁵ Чай, кофе.

17⁰⁵ – 19⁰⁰ Сессия стендовых докладов 1

19⁰⁰ – 20⁰⁰ Ужин

Среда, 17 октября 2012 года

8⁰⁰ – 9⁰⁰ Завтрак

9⁰⁰ – 11⁰⁰ Сессия IV: Сильно коррелированные электронные системы

Председатель: Е.С. Клементьев (ИЯИ РАН)

- 9⁰⁰ – 9³⁰ Магнитные возбуждения в валентно-нестабильной системе TmTe с антиферроквадрупольным упорядочением
Е.С. Клементьев (ИЯИ РАН) *приглашенный доклад*
- 9³⁰ – 10⁰⁰ Современные нейтронные спектрометры по времени пролета
К.С. Немковский (JCMS, Юлих) *приглашенный доклад*
- 10⁰⁰ – 10²⁰ Магнитное упорядочение в структурно-гетерофазном манганитном Yb_{0.6}Sr_{0.4}MnO₃ мультиферроике
А.И. Курбаков (ПИЯФ НИЦ КИ)
- 10²⁰ – 10⁴⁰ Scaling in Dynamic Susceptibility of Quantum Spin Liquids and Heavy-Fermion Metals and Neutron scattering
В.Р. Шагинян (ПИЯФ НИЦ КИ)
- 10⁴⁰ – 11⁰⁰ Нейтронографическое исследование магнитных сегнетоэлектриков-релаксоров (BiFeO₃)_{1-x}(PbTiO₃)_x
И.В. Голосовский (ПИЯФ НИЦ КИ)

11⁰⁰ – 11³⁰ Чай, кофе

11³⁰ – 13³⁰ Сессия V: Некристаллические материалы, полимеры и жидкости

Председатель: М.А. Киселев

- 11³⁰ – 12⁰⁰ Исследования структуры и конформаций звездообразных полимеров с фуллереновыми центрами ветвления
В.Т. Лебедев (ПИЯФ НИЦ КИ) *приглашенный доклад*
- 12⁰⁰ – 12²⁰ Особенности структуры перфторированных протонопроводящих мембран типа Nafion
Ю.В. Кульвелис (ПИЯФ НИЦ КИ)
- 12²⁰ – 12⁴⁰ Особенности мезоструктуры аморфных ксерогелей оксо- и гидродроксо – соединений металлов (Fe, Zr, Cr, Y, In), синтезированных в мощном ультразвуковом поле
Г.П. Копица (ПИЯФ НИЦ КИ)
- 12⁴⁰ – 13⁰⁰ Анализ квазиупругого рассеяния нейтронов концентрированной водной дисперсией наноалмазов
А.Г. Новиков (ГНЦ РФ – ФЭИ)
- 13⁰⁰ – 13³⁰ Неоднородность структуры детонационного наноалмаза по данным малоуглового рассеяния нейтронов
М.В. Авдеев (ОИЯИ) *приглашенный доклад*

Параллельная молодежная сессия (в малом зале)

11³⁰ – 13³⁰ Сессия Va: Кристаллические и магнитные структуры

Председатель: Д.П. Козленко (ОИЯИ)

- 11³⁰ – 11⁴⁵ Магнитное упорядочение в кристаллах моносилицида марганца MnSi с химически индуцированным отрицательным давлением
Н.М. Потапова (ПИЯФ НИЦ КИ)
- 11⁴⁵ – 12⁰⁰ Наномасштабная гетерофазность и диффузное рассеяние в монокристаллах цирконата-титаната свинца в области морфотропной фазовой границы
Ю.А. Бронвальд (СПбГПУ)
- 12⁰⁰ – 12¹⁵ Условия образования и структура нового водородного гидрата
М.А. Кузовников (ИФТТ РАН)
- 12¹⁵ – 12³⁰ Наблюдение эффекта аномального поглощения нейтронов, дифрагирующих по Лауэ, при углах Брэгга, близких к $\pi/2$
Е.О. Вежлев (ПИЯФ НИЦ КИ)
- 12³⁰ – 12⁴⁵ Кристаллическая структура Li₄ZnTeO₆ и обзор семейства A₄MXO₆
М.А. Евстигнеева (ЮФУ)
- 12⁴⁵ – 13⁰⁰ Нейтронографическое и рентгенографическое исследование монокристалла Y_{0.715}Ca_{0.285}F_{2.715}
А.И. Калюканов (ИК РАН)
- 13⁰⁰ – 13¹⁵ Метастабильные магнитные состояния стекольного типа и ближний магнитный порядок в редкоземельных интерметаллидах R₅Pd₂
А.Ф. Губкин (ИФМ УрО РАН)
- 13¹⁵ – 13³⁰ Исследование структурных изменений в мультиферроике BiMnO₃ при высоком давлении
С.Г. Джабаров (ОИЯИ)

13³⁰ – 15⁰⁰ Обед

15⁰⁰ – 17⁰⁰ Сессия VI: Биологические системы
Председатель: М.В. Авдеев (ОИЯИ)

- 15⁰⁰ – 15³⁰ Наноструктура и свойства модельных мембран верхнего слоя кожи stratum corneum. Исследования на нейтронных и синхротронных источниках
М.А. Киселев (ОИЯИ) приглашенный доклад
- 15³⁰ – 16⁰⁰ Применение малоуглового рассеяния нейтронов к исследованию структуры хроматина
В.В. Исаев-Иванов (ПИЯФ НИЦ КИ) приглашенный доклад
- 16⁰⁰ – 16²⁰ Структура амилоидных протофиламентов лизоцима по данным малоуглового рассеяния нейтронов и рентгеновских лучей
В.И. Петренко (ОИЯИ)
- 16²⁰ – 16⁴⁰ Олигомерные состояния белка Tir49a по данным малоуглового нейтронного рассеяния
Д.В. Лебедев (ПИЯФ НИЦ КИ)
- 16⁴⁰ – 17⁰⁰ Поляризационный анализ с помощью нейтронных спиновых фильтров для исследования структуры биологических объектов
А.Ф. Иоффе (JCNS, Юлих)

17⁰⁰ – 17³⁰ Чай, кофе

17⁰⁰ – 19⁰⁰ Сессия стендовых докладов 2

19⁰⁰ – 20⁰⁰ Ужин

Четверг, 18 октября 2012 года

8⁰⁰ – 9⁰⁰ Завтрак

9⁰⁰ – 11⁰⁰ Сессия VII: Слоистые структуры, тонкие пленки и поверхности

Председатель: Б.П. Топерверг (*ПИЯФ НИЦ КИ*)

- 9⁰⁰ – 9³⁰ Рефлектометрия поляризованных нейтронов
Б.П. Топерверг (*ПИЯФ НИЦ КИ*) *приглашенный доклад*
- 9³⁰ – 10⁰⁰ Квантование волн спиновой плотности в сверхтонких пленках хрома
Е.А. Кравцов (*ИФМ УрО РАН*) *приглашенный доклад*
- 10⁰⁰ – 10²⁰ Перспективы развития поляризационной нейтронной оптики на основе нового метода улучшения поляризующих нейтронных покрытий
Н.К. Плешанов (*ПИЯФ НИЦ КИ*)
- 10²⁰ – 10⁴⁰ Нейтронный магнитный резонанс в слоистой наноструктуре
Ю.В. Никитенко (*ОИЯИ*)
- 10⁴⁰ – 11⁰⁰ Оценка сечения взаимодействия нейтронов со спиновыми волнами в тонких ферромагнитных пленках
И.А. Боднарчук (*НИИЯФ МГУ*)

11⁰⁰ – 11³⁰ Чай, кофе

11³⁰ – 13³⁰ Сессия VIII: Фундаментальные взаимодействия и свойства нейтрона

Председатель: В.В. Воронин (*ПИЯФ НИЦ КИ*)

- 11³⁰ – 12⁰⁰ Нейтронная оптика и дифракция нейтронов в нецентросимметричных кристаллах. Новые методы поиска ЭДМ нейтрона и короткодействующих «псевдомангнитных» сил взаимодействия нейтронов с веществом
В.В. Федоров (*ПИЯФ НИЦ КИ*) *приглашенный доклад*
- 12⁰⁰ – 12³⁰ Исследования по физике фундаментальных взаимодействий на реакторах ВВР-М, СМ-3 и ПИК
А.П. Серебров (*ПИЯФ НИЦ КИ*) *приглашенный доклад*
- 12³⁰ – 12⁵⁰ Эффект аномальной временной дисперсии при прохождении нейтронов через кристалл вблизи условия Брэгга
В.В. Воронин (*ПИЯФ НИЦ КИ*)
- 12⁵⁰ – 13¹⁰ Измерение электрического заряда нейтрона методом спиновой интерферометрии
И.А. Кузнецов (*ПИЯФ НИЦ КИ*)
- 13¹⁰ – 13³⁰ Магнитное хранение ультрахолодных нейтронов и измерение времени жизни нейтрона
В.Ф. Ежов (*ПИЯФ НИЦ КИ*)

Параллельная молодежная сессия (в малом зале)

11³⁰ – 13³⁰ Сессия VIIa: Наноматериалы

Председатель: С.В. Григорьев (*ПИЯФ НИЦ КИ*)

- 11³⁰ – 11⁴⁵ Геометрически фрустрированные магнитные опалоподобные наноструктуры
А.А. Мистонов (*СПбГУ*)

- 11⁴⁵ – 12⁰⁰ Малоугловая дифракция поляризованных нейтронов при исследовании массивов магнитных нанонитей на основе мембран анодированного Al_2O_3
А.П. Чумаков (ПИЯФ НИЦ КИ)
- 12⁰⁰ – 12¹⁵ Магнитные и структурные свойства систем чередующихся ферромагнитных гранулированных/ полупроводниковых слоёв $[(\text{Co}_{45}\text{Fe}_{45}\text{Zr}_{10})_x(\text{Al}_2\text{O}_3)_{(1-x)}/\text{a-Si:H}]_m$
В.А. Уклеев (ПИЯФ НИЦ КИ)
- 12¹⁵ – 12³⁰ Спиновая хиральность геликоидальной спиновой структуры в многослойной системе Ho/Y
В.В. Тарнавич (ПИЯФ НИЦ КИ)
- 12³⁰ – 12⁴⁵ Структура магнитной жидкости магнетит/олеиновая кислота/декалин с избытком кислоты по данным малоуглового рассеяния нейтронов
А.В. Нагорный (ОИЯИ)
- 12⁴⁵ – 13⁰⁰ Структурный аспект формирования оптических свойств в кристаллофосфорах $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}/\text{Lu}_2\text{O}_3$
С.Е. Кичанов (ОИЯИ)
- 13⁰⁰ – 13¹⁵ Кластерообразование в силикатных стеклах, допированных оксидами церия и титана
С.А. Самойленко (ОИЯИ)
- 13¹⁵ – 13³⁰ Атомные колебания в наночастицах галлия и висмута, синтезированных внутри пористых стекол
Ю.А. Кибалин (ПИЯФ НИЦ КИ)

13³⁰ – 15⁰⁰ *Обед*

15⁰⁰ – 16³⁰ **Сессия IX: Источники нейтронов I**

Председатель: Б.Н. Гощицкий (ИФМ УрО РАН)

- 15⁰⁰ – 15³⁰ Модернизированный реактор ИБР-2 с новым комплексом холодных замедлителей нейтронов
С.А. Куликов (ОИЯИ) приглашенный доклад
- 15³⁰ – 16⁰⁰ Новейшие разработки приборов нейтронного рассеяния в Юлиховском Центре Нейтронных Исследований
А.И. Иоффе (JCNS, Юлих) приглашенный доклад
- 16⁰⁰ – 16¹⁵ Нейтронные исследования на реакторе ИВВ-2М
В.И. Бобровский (ИФМ УрО РАН)
- 16¹⁵ – 16³⁰ Источники холодных нейтронов и перспективы развития
А.А. Захаров (ПИЯФ НИЦ КИ)

16³⁰ – 17⁰⁰ *Чай, кофе*

17⁰⁰ – 19⁰⁰ **Сессия IX: Источники нейтронов II**

Председатель: К.А. Коноплев

- 17⁰⁰ – 17³⁰ Состояние дел на реакторе ПИК
С.Л. Смольский (ПИЯФ НИЦ КИ) приглашенный доклад
- 17³⁰ – 18⁰⁰ Источники холодных нейтронов на реакторе ПИК
В.А. Митюхляев (ПИЯФ НИЦ КИ) приглашенный доклад
- 18⁰⁰ – 18²⁰ Нейтронный комплекс ИЯИ РАН: статус и перспективы
Э.А. Коптелов (ИЯИ РАН)

18²⁰ – 18⁴⁰ Нейтронографический комплекс для исследования конденсированных сред и нанодиагностики на базе импульсного источника нейтронов ИН06 ИЯИ РАН
Р.А. Садыков (ИЯИ РАН)

19⁰⁰ – 20⁰⁰ Ужин

Пятница, 19 октября 2012 года

8⁰⁰ – 9⁰⁰ Завтрак

9⁰⁰ – 11⁰⁰ **Сессия X: Приборы и методика нейтронного эксперимента**
Председатель: А.И. Иоффе (*JCNS, Юлих*)

9⁰⁰ – 9²⁰ Holographic imaging of atomic scale objects using thermal neutrons
Laszlo Cser (KFKI, Будапешт)
9²⁰ – 10⁰⁰ Дифракция высокого разрешения с применением RTOF метода на импульсном реакторе ИБР2 (Опыт работы и перспективы развития)
В.А. Кудряшов (ПИЯФ НИЦ КИ) приглашенный доклад
10⁰⁰ – 10²⁰ Характеристики спектрометра ДИН-2ПИ с нейтронным концентратором
А.В. Пучков (ГНЦ РФ – ФЭИ)
10²⁰ – 10⁴⁰ Амплитуда рассеяния в задачах многократного малоуглового рассеяния
Ф.С. Джепаров (ИТЭФ НИЦ КИ)
10⁴⁰ – 11⁰⁰ Перспективные направления развития методики и техники спин-эхо малоуглового рассеяния нейтронов
Ю.О. Четвериков (ПИЯФ НИЦ КИ)

11⁰⁰ – 11³⁰ Чай, кофе

11³⁰ – 13³⁰ **Сессия XI: Функциональные материалы**
Председатель: В.В. Рунов (*ПИЯФ НИЦ КИ*)

11³⁰ – 11⁴⁵ Размерный эффект в нанокристаллическом диоксиде церия
А.Е. Соколов (ПИЯФ НИЦ КИ)
11⁴⁵ – 12⁰⁰ Задачи геофизики и нейтронные исследования геологических материалов
Т.И. Иванкина (ОИЯИ)
12⁰⁰ – 12¹⁵ Residual stresses induced in titanium-steel and niobium-steel bilayer pipes manufactured by explosive welding: neutron diffraction investigations
Ю.В. Таран (ОИЯИ)
12¹⁵ – 12³⁰ Обзор работ, посвященных исследованиям наноуглеродных материалов дифракционными методами
Ф.М. Шахов (ФТИ РАН)
12³⁰ – 12⁴⁵ Магнитные фазовые переходы в системе соединений Tb_{1-x}Er_xNi₅
А.Н. Пирогов (ИФМ УрО РАН)
12⁴⁵ – 13⁰⁰ Измерение остаточных напряжений в толстых (>40мм) стальных деталях методом дифракции нейтронов
В.Т. Эм (НИЦ КИ)

- 13⁰⁰ – 13¹⁵ Изучение анизотропного уширения дифракционных пиков на RTOF дифрактометре
Г.Д. Бокучава (ОИЯИ)
- 13¹⁵ – 13³⁰ Электрофизические свойства углеродных нанокompозитов на основе нанодмазов, облученных быстрыми нейтронами
С.П. Беяев (ПИАФ НИЦ КИ)

Параллельная молодежная сессия (в малом зале)

11³⁰ – 13³⁰ Сессия ХIа: Приборы и методика нейтронного эксперимента Председатель: Г.Д. Бокучава (ОИЯИ)

- 11³⁰ – 11⁴⁵ Метод спин-эхо малоуглового рассеяния нейтронов в исследованиях систем с фрактальным распределением неоднородностей субмикронного масштаба
Е.В. Величко (ПИАФ НИЦ КИ)
- 11⁴⁵ – 12⁰⁰ Развитие методов синхротронной и нейтронной томографии для изучения палеонтологических и геологических объектов»
Е.С. Коваленко (НИЦ КИ)
- 12⁰⁰ – 12¹⁵ Результаты испытаний нейтронного рефлектометра-малоуглового дифрактометра на импульсном источнике ИН-06 ИЯИ РАН
В.С. Литвин (ИЯИ РАН)
- 12¹⁵ – 12³⁰ Эксперименты по радиографии на нейтронных пучках реактора ИБР-2
Е.В. Лукин (ОИЯИ)
- 12³⁰ – 12⁴⁵ Развитие метода нейтронного спин-эха с использованием вращающихся магнитных полей
А.Б. Рубцов (ОИЯИ)
- 12⁴⁵ – 13⁰⁰ Система регистрации для нейтронографических экспериментов по методу пролета на импульсных источниках нейтронов ИЯИ РАН
Д.Н. Трунов (ИЯИ РАН).
- 13⁰⁰ – 13¹⁵ Измерение профилей некоторых пучков ИБР-2М
А.В. Чураков (ОИЯИ)
- 13¹⁵ – 13³⁰ Дифрактометр для исследований переходных процессов в реальном времени на реакторе ИБР-2М
С.Г. Шеверев (ОИЯИ)

13³⁰ – 15⁰⁰ Обед

15⁰⁰ – 16⁰⁰ Сессия ХII: Комплементарные нейтронные и синхротронные исследования вещества Председатель: В.А. Соменков (НИЦ КИ)

- 15⁰⁰ – 15³⁰ Комплементарные нейтронные и синхротронные исследования вещества
С.Б. Вахрушев (ФТИ РАН) приглашенный доклад
- 15³⁰ – 16⁰⁰ Взаимодействие аморфного фуллерита C₆₀ с железом при спекании
М.С. Блантер (МГУПИ)
- 16⁰⁰ – 16¹⁵ Исследование пленок инвертированных опалоподобных структур на основе кобальта и никеля методом ультра малоуглового рассеяния синхротронного излучения
А.В. Чумакова (ПИАФ НИЦ КИ)

16¹⁵ – 16²⁵ **Заккрытие совещания**
16¹⁵ – 16⁵⁵ Чай, кофе

18⁰⁰ Отъезд участников РНИКС-2012

Возможны изменения в программе.
Информация будет представлена на информационной стойке.

Понедельник, 15 октября 2012 года

Нейтрон-синхротронные исследования в НИЦ «Курчатовский институт»

В.А. Соменков

НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия

Обзор развития комплексной лучевой диагностики и результатов ее применения для решения актуальных задач различных отраслей науки: физики твердого тела, палеонтологии и прикладных проблем.

Показано, что последовательный комплексный подход обеспечивает увеличение точности и надежности и конкурентоспособности результатов.

Структурные деформации в системе метастабильных кубических соединений $\text{Ni}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$ ($0.01 \leq x \leq 0.4$)

В.И. Максимов, С.Ф. Дубинин

Институт физики металлов УрО РАН, Екатеринбург, Россия

Методом рентгеновской и синхротронной дифракции исследовалась тонкая кристаллическая структура метастабильных кубических оксидных соединений $\text{Ni}_x\text{Zn}_{(1-x)}\text{O}$ ($0.01 \leq x \leq 0.4$), полученных из исходной гексагональной фазы посредством закалки образцов с высокой температуры и при наложении на них внешнего гидростатического давления. Обнаружено, что дифракционные картины данных соединений включают в себя систему сверхструктурных диффузных максимумов, число и интенсивность которых существенно зависят от их состава. Обсуждается происхождение этой сверхструктуры.

Сессия I: Кристаллические и магнитные структуры

Нейтроннографические исследования би-магнитных наносистем "ядро-оболочка"

И.В. Голосовский¹, A. López-Ortega², M. Estrader², E. Pellicer³, M. González⁴, J. Sort^{3, 5},
S. Suriñach³, M.D. Baró³, J. Nogués^{2, 3, 5}

¹ *Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия*

² *Catalan Institute of Nanotechnology, Barcelona, Spain*

³ *Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona, Spain*

⁴ *Institute Laue-Langevin, Grenoble, France*

⁵ *Institució Catalana de Recerca i Estudis Avançats (ICREA), Barcelona, Spain*

Наноструктурированные гетерогенные системы, состоящие из антиферромагнитного ядра и ферримагнитной оболочки, очень интересны, поскольку в них наблюдаются эффекты «близости» (proximity effects), в частности, обменное подмагничивание (exchange bias). В докладе представлен обзор последних результатов исследований таких систем. Рассмотрены система FeO(ядро)/Fe₃O₄(оболочка), где оболочка синтезируется в процессе окисления ядра на воздухе, а также новая система, где ядром является мезопористая реплика Co₃O₄ (технология KIT-6) с гироидальной симметрией, "нанонити" которой покрыты ферримагнетиком Fe₃O₄.

В результате исследований разными методиками: нейтроннография (дифрактометр D20, ILL), рентгенография, малоугловое рассеяние, магнитные измерения, EELS и электронная микроскопия определены морфология, фазовый состав, структурные параметры, магнитный порядок, температурная и временная эволюция параметров. Установлено, что система FeO/Fe₃O₄ состоит из трех составляющих:

- Ядро FeO_{0.8}, с диаметром порядка 10 нм. Заселенность по кислороду установлена из спектров энергетических потерь электронов (EELS) и нейтроннографией.
- Оболочка со структурой стехиометрического магнетита Fe₃O₄ толщиной около 3 нм.
- Вторая оболочка, со структурой дефектной шпинели, которая видна как прозрачное кольцо в электронной микроскопии. Ее дифракционный размер, ~1 нм, согласуется с величинами, полученными из спектров малоуглового рентгеновского рассеяния.

В первой оболочке ферримагнитный порядок с моментом ~ 2 μ_B не меняется в диапазоне 2–300 К, тогда как во второй оболочке, порядок появляется только при низких температурах. В ядре магнитный порядок не обнаружен вплоть до 2 К, что согласуется с результатами рентгеноструктурных исследований, которые не выявили ромбоэдрических структурных искажений, которые обычно сопровождают антиферромагнитное упорядочение в оксиде FeO.

Зависимость намагниченности насыщения, измеренная из петли гистерезиса и площадь интерфейса, рассчитанная из дифракционных данных, практически идентичны, что отражает тот факт, что магнитный сигнал пропорционален площади интерфейса.

При низких температурах обнаружены слабые сверхструктурные рефлексы, которые индексируются в утроенной ячейки FeO. Их появление согласуется с представлениями, что оболочка «прорастает» на поверхности ядра через систему упорядоченных дефектов.

Исследования мезопористой, би-магнитной системы показали, что гироидальная реплика, с диаметром «нанонитей» около 9 нм, действительно является стехиометрическим оксидом Co₃O₄ с антиферромагнитной структурой в тетраэдрической подрешетке,

с моментом $2.4(8) \mu_B/\text{ион}$. Магнитный порядок в октаэдрической подрешетке отсутствует, поскольку ион Co^{3+} находится в низко-спиновом состоянии. Дифракционного сигнала от слоя Fe_3O_4 не обнаружено, что предполагает его аморфизацию, хотя «обменное подмагничивание» присутствует и электронная микроскопия подтверждает наличие оксида железа.

Полученные результаты обсуждаются в связи с обнаружением «эффектов близости» в исследуемых системах и возможным практическим применением.

Работа поддержана грантами РФФИ 10-02-00576 и МинОбрНауки N16.518.11.7034.

Нейтроннографические исследования структуры материалов магнитоэлектроники при высоких давлениях

О.Л. Макарова

НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия

Представлены результаты исследований магнитной и кристаллической структуры перспективных материалов магнитоэлектроники (мультиферроиков, хиральных магнетиков) методом порошковой дифракции нейтронов в диапазоне давлений $0 \text{ ГПа} < P < 4 \text{ ГПа}$ и температур $2 \text{ К} < T < 300 \text{ К}$.

Кристаллическая и магнитная структура нового смешанновалентного соединения $\text{LiMn}_2\text{TeO}_6$

В.Б. Налбандян¹, А.И. Курбаков², В.В. Чернышев³, А.Л. Малышев², Е.А. Церковная²

¹Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

²Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия

³МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Сочетанием методов порошковой рентгеновской и нейтронной дифракции проведено уточнение структуры нового соединения $\text{LiMn}_2\text{TeO}_6$. Это редкий пример соединения Mn со смешанной степенью окисления ниже, чем 3 ($2.5+$), где Mn^{2+} и Mn^{3+} не показывают сильно различающиеся предпочтения в координации. Этим он существенно отличается от аналогичных материалов, демонстрирующих колоссальное магнитное сопротивление (КМС), но со степенью окисления Mn между 3 и 4, которые интенсивно изучаются в последние годы. Керамика $\text{LiMn}_2\text{TeO}_6$ имеет необычно низкую для смешанновалентных соединений проводимость ($2 \times 10^{-7} \text{ См/см}$ при 298 К) [1], а измерения магнитной восприимчивости [2] указали на низкотемпературное антиферромагнитное упорядочение.

Кристаллическая структура $\text{LiMn}_2\text{TeO}_6$ на основании данных рентгеновской дифракции описана в рамках ацентричной пространственной группы P1. Получено, что это триклинно искаженный вариант известной ромбической структуры типа $\text{Li}_2\text{TiTeO}_6$ с другим вариантом упорядочения катионов. Триклинные деформации настолько велики, что позволяют считать $\text{LiMn}_2\text{TeO}_6$ самостоятельным неромбическим типом. Структура базируется на сильно искаженной двухслойной плотной упаковке анионов кислорода с катионами Li, Mn и Te, занимающими октаэдрические пустоты. Данные нейтронной дифракции позволили точно определить распределение ионов Mn по 4-м независимым MnO_6 октаэдрам и локализовать позиции Li. Два независимых октаэдра TeO_6 почти правильные, а средние значения длин связи Te-O хорошо согласуются с суммой ионных радиусов $\text{Te}(6+)$ и $\text{O}(2-)$, 1.94 Å, тогда как $\text{Te}(4+)$ гораздо больше, чем $\text{Te}(6+)$, и не может занимать позицию в октаэдрическом кислородном окружении. Четыре независимых октаэдра MnO_6 демонстрируют значительные искажения. Хорошо известно, что ион Mn^{3+} (высокоспиновый d^4) значительно меньше, чем Mn^{2+} и склонен к сильным ян-теллеровским искажениям, тогда как $\text{Mn}^{2+}(d^5)$ обычно имеет намного более регулярное окружение. Однако наши исследования установили, что модель с двумя Mn^{2+} и двумя Mn^{3+} в элементарной ячейке недостаточна для описания кристаллической структуры, и необходимо рассматривать не 4, а 5 возможных позиций Mn в элементарной ячейке, принимая возможность взаимозамещения Mn и Li.

Нейтронная дифракция при гелиевых температурах позволила исследовать магнитное упорядочение. В температурном диапазоне 1.8–12 К обнаружена сложная соизмеримая магнитная структура. Выше 12 К наблюдается переход к несоизмеримым структурам, который заканчивается при 20 К (T_N). Отметим, что выше 20 К магнитные пики исчезают, но образуется довольно мощное диффузное гало. Это говорит о том, что магнитные корреляции локального характера возникают в нашей системе много выше температуры Нееля. Нейтронные результаты хорошо согласуются с измерениями температурной зависимости магнитной восприимчивости на данном соединении [2], которая имеет сложный характер и обнаруживает наличие двух различных аномалий при тех же температурах: 12 К и 20 К.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект 11-03-01101.

- [1] A.A. Pospelov, V.B. Nalbandyan, E.I. Serikova, B.S. Medvedev, M.A. Evstigneeva, E.V. Ni, V.V. Lukov, Solid State Sciences. **13**, 1931 (2011).
- [2] E.A. Zvereva, O.A. Savelieva, E.A. Samohvalov, O.S. Volkova, A.N. Vasiliev, V.B. Nalbandyan, M.A. Evstigneeva, A. Wolter, B. Büchner. In: Moscow International Symposium on Magnetism. August 21-25, 2011. Book of Abstracts. P. 429-430.

Локальная нестабильность кристаллической решётки полупроводниковых соединений $A^{II}B^{VI}:M$ ($M=3d$ -ион) в модификации сфалерита

В.И. Максимов, С.Ф. Дубинин, Т.П. Суркова

Институт физики металлов УрО РАН, Екатеринбург, Россия

Полупроводниковые соединения $A^{II}B^{VI}$, при их легировании магнитоактивными ионами, привлекательны с точки зрения поисков путей целенаправленного формирования магнитоупорядоченных состояний на их основе, включая также возможности прецизионной настройки параметров кристаллической и зонной структуры [1]. Указанный интерес к рассматриваемым объектам обусловлен потребностями электронной оптики и спинтроники. При допировании в малых количествах в $A^{II}B^{VI}$ магнитные $3d$ -ионы, обладая физической возможностью замещать катионы полупроводника, инициируют тонкие изменения в зонной структуре, искажения исходной кристаллической решётки в окрестности примесного иона, в том числе вследствие эффекта Яна-Теллера [2, 3]. Для многих магнитоактивных примесей характерна плохая растворимость в полупроводниковых матрицах II-VI.

В предлагаемой вниманию работе, при температуре $T=300$ К и 78 К, на массивных образцах-монокристаллах было проведено нейтронографическое исследование тонких особенностей кристаллической структуры соединений $ZnB:M$ ($M=V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni$; $B=S, Se, Te$), а также с замещением по халькогену $ZnS_xSe_{1-x}:M$ ($0 < x < 1$), в модификации сфалерита, с уровнем легирования $3d$ -примесью $y \sim 0.001$. Изучены эффекты рассеяния нейтронов, обусловленные поперечными и продольными локальными деформациями в кристаллической решётке исследованных кристаллов. Показано, что $3d^n$ -конфигурация примесного иона определяет тип искажения в кристаллической структуре, и существуют, главным образом, два не зависящих друг от друга влияния, формирующие локальную нестабильность решётки. Во-первых, возмущения, индуцированные только легированными $3d$ -ионами, усиливаются в ряду ZnB с ростом номера халькогена в периодической системе. Другим дестабилизирующим фактором является склонность к политипии для некоторых соединений рассматриваемого типа. Так, при преобладании серы в составе растворов из ряда ZnS_xSe_{1-x} локально-деформированные состояния решётки представляются предпереходными между ГЦК и гексагональной-6Н структурами, на фоне чего эффекты нестабильности в результате легирования $3d$ -ионами кажутся выраженными слабее. При наличии тенденции формирования политипов наибольшие величины атомных смещений достигаются в кристаллографических направлениях, в которых расстояния между однотипными ионами являются минимальными.

Работа выполнена при частичной поддержке Госконтракта Минобрнауки № 16.518.11.7032, проектов №№ 12-T-02-1006, 12-T-02-1016 ОФН РАН.

- [1] Semiconductors and Semimetals. Volume 25. Diluted magnetic semiconductors / ed. by J.K. Furdyna and J. Kossut. New York, Academic Press, 1988. 496 pp.
- [2] V. Gudkov, A. Lonchakov, V. Sokolov, et al. J. Korean Phys. Soc., 53, 63 (2008).
- [3] С.Ф. Дубинин, В.И. Соколов, С.Г. Теплоухов и др. ФТТ, 48, 2151 (2006).

Анализ путей проводимости катионов К в KFeO_2 с помощью программы TOPOS на основе кристаллографических данных в широком температурном интервале

В.И. Воронин¹, В.А. Блатов², Г.Ш. Шехтман³

¹*Институт физики металлов УрО РАН, Екатеринбург, Россия*

²*Самарский государственный университет, Самара, Россия*

³*Институт высокотемпературной электрохимии УрО РАН, Екатеринбург, Россия*

Бурное развитие ионики твёрдого тела в течение последних десятилетий сопровождалось интенсивным поиском новых твёрдых электролитов с проводимостью по катионам щелочных металлов. В результате получено и исследовано большое количество фаз с очень высокой литий- и натрий-катионной проводимостью. Количество твёрдых электролитов с проводимостью по катионам калия значительно меньше, а число рубидий- и цезийпроводящих соединений с достаточно высокими характеристиками исчисляется единицами.

В настоящей работе методом нейтронографии исследовано соединение KFeO_2 в интервале температур 300-1050 К. Найдено, что при температуре 820 К KFeO_2 претерпевает структурный фазовый переход из орторомбической в кубическую структуру, сопровождающийся скачкообразным увеличением проводимости и понижением энергии активации. Для выявления корреляции между величиной проводимости и структурными особенностями мы с помощью программы TOPOS построили карту миграции катионов K^+ в низко- и высокотемпературной модификациях KFeO_2 . В низкотемпературной форме были найдены 5 каналов проводимости с различным сечением, что указывает на сильную анизотропию проводимости. С ростом температуры размер сечений каналов увеличивается, а при переходе в кубическую структуру, во-первых, все каналы становятся эквивалентными, во-вторых, испытывают скачок в размерах. Этим фактом и обусловлен вид кривой проводимости и ее переход в трехмерную. Кроме того, анализ диффузного рассеяния указывает на "плавление" подрешетки калия, что также увеличивает проводимость из-за возникновения коррелированных с движением катионов калия колебаний тетраэдров FeO_4 .

Работа выполнена по плану РАН (тема № 01.2.006 13394, шифр «Импульс»), при поддержке программы фундаментальных исследований РФФИ, грант № 11-03-00663а.

Дифракционные исследования орторомбической фазы NiF₂ в эпитаксиальных гетероструктурах на Si(111)

Ю.П. Черненко

Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия

Гетероструктуры ферромагнетик – антиферромагнетик, находят широкое практическое применение, например в устройствах сверхплотной магнитной записи информации. Многие вопросы, касающиеся кристаллической и магнитной структуры слоев в таких системах, остаются открытыми.

Дифракционными методами нами исследованы слои NiF₂ разной толщины (100–1000 нм) на подложках CaF₂(111)/Si(111), впервые выращенные при молекулярно-лучевой эпитаксии. Получена информация о зависимости от толщины слоя кристаллической и магнитной структур NiF₂, которые отличны от таковых для объемного кристалла. При этом температура антиферромагнитного перехода в пленках NiF₂ выше.

Сессия II: Элементарные возбуждения

Polarized neutron spectroscopy in quest of the nature of unconventional superconductivity

J. Kulda

Institut Laue-Langevin, Grenoble, France

The magnetic response of materials like cuprates and pnictides is dominated by spin fluctuations, exhibiting a common feature – the magnetic resonance – a sharp collective mode, that builds up when cooling through the superconducting transition temperature. Traditionally polarized neutron spectroscopy has been used to distinguish these fluctuations from crystal lattice excitations and to prove their purely magnetic nature. Here we will review recent, more ambitious, attempts to address questions related to the eventual polarization anisotropy of the magnetic response and to search for its further components, possibly less localized in reciprocal space, which could provide important constraints on microscopic theories of high-T_c superconductivity.

Спектроскопия магнитных возбуждений в $\text{EuCu}_2(\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x})_2$: от f-электронной неустойчивости к магнитному порядку

П.А. Алексеев¹, К.С. Немковский², Ж.-М. Миньо³, В.Н. Лазуков¹, А.П. Менушенков⁴,
Р. Бюли⁵, А.В. Грибанов⁶

¹ НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия

² Jülich Centre for Neutron Science, Garching, Germany

³ Laboratoire Léon Brillouin, CEA-CNRS, CEA/Saclay, 91191 Gif sur Yvette, France

⁴ НИЯУ «МИФИ», Москва, Россия

⁵ ISIS Pulsed Neutron and Muon Facility, Chilton, UK

⁶ МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Неупругое магнитное рассеяние нейтронов позволяет изучить детали спектра магнитных возбуждений систем с необычными типами основных состояний, и тем самым установить природу и условия формирования их физических свойств. Среди множества самариевых и европиевых систем серия сплавов – твердых растворов германия в тройном силициде европия $\text{EuCu}_2(\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x})_2$ – представляет уникальную возможность для реализации непрерывного перехода между валентнонеустойчивым, тяжелофермионным и магнитоупорядоченным состояниями. При этом вблизи $x \sim 0.7$ реализуется состояние типа квантовой критической точки. В докладе представлены результаты исследования спиновой динамики в системах $\text{EuCu}_2(\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x})_2$ ($x=1, 0.9, 0.75, 0.6$) методом неупругого рассеяния нейтронов, и валентного состояния Eu методом рентгеновской абсорбционной спектроскопии, выполненные в области температур 5–300 К. При $x=1$, когда валентность близка к $3+$ (температура низкая), в спектре магнитных возбуждений наблюдается двухпиковая структура в области энергий заметно ниже энергии спин-орбитального перехода ${}^7F_0 \rightarrow {}^7F_1$ Eu^{3+} , при этом один из пиков может быть соотнесен с перенормированным спин-орбитальным возбуждением. Уменьшение валентности европия за счет роста температуры, или за счет роста концентрации Ge приводит к дальнейшему понижению энергии и постепенному подавлению пиков в спектре, при этом проявляется и усиливается вклад от квазиупругого сигнала, который может быть соотнесен со спиновыми флуктуациями для двухвалентной конфигурации. Природа спектральных особенностей и их эволюция обсуждаются с позиций экситонной модели промежуточновалентного состояния. Анализируются качественные и количественные особенности спектра динамической магнитной восприимчивости в сопоставлении с магнитной фазовой диаграммой системы.

Работа поддержана Грантом РФФИ 11-02-00121.

Атомная динамика нанометровых частиц олова, внедренного в пористое стекло

П.П. Паршин

НИИ «Курчатовский институт», Москва, Россия

Методом неупругого ядерного поглощения синхротронного излучения, на образце с природной смесью изотопов, измерен спектр тепловых колебаний атомов олова, внедренного в пористое стекло со средним диаметром пор 7 нм и, для сравнения, спектр колебаний атомов олова в массивном образце, обогащенном изотопом Sn119. Экспериментально установлено, что для наночастиц олова, в пористом стекле, по сравнению с массивным оловом, имеет место увеличение спектральной плотности фононных состояний как со стороны низких, так и высоких энергий. Особенности динамики атомов олова, внедренного в нанометровые поры стекла, обсуждаются с привлечением качественной модели строения нанокompозита.

Elementary excitations in $\text{Me}_{1-x}(\text{NH}_4)_x\text{Y}$ (Me=K, Rb; Y=Cl, Br, I) mixed crystals by Inelastic Incoherent Neutron Scattering

L.S. Smirnov^{1,2}, I. Natkaniec^{2,3}, J. Ollivier⁴, J.A.Dianou⁴, M.L. Martinez Sarrion⁵, L. Mestres⁵

¹ *Institute of Theoretical and Experimental Physics, Moscow, Russia*

² *Joint institute for nuclear research, Dubna, Russia*

³ *H.Niewodniczanski Institute of Nuclear Physics, Krakow, Poland*

⁴ *Institute of Laue-Langevin, Grenoble, France*

⁵ *University of Barcelona, Barcelona, Spain*

This report is devoted to how ionic radius sizes influence on dynamics of $\text{Me}_{1-x}(\text{NH}_4)_x\text{Y}$ (Me=K, Rb; Y=Cl, Br, I) mixed crystals. The study of such dependencies is carried out by the inelastic incoherent neutron scattering with using of spectrometers NERA-PR (Dubna, Russia) and IN5 and IN6 (Grenoble, France). The above-presented mixed crystals contained small ammonium impurities and investigated at temperatures from 5 to 150 K in the α -phase with fcc crystal structure. The results of the observations of resonance rotational tunneling energies of the multipole moments of ammonium ions, rotational tunneling energies between splitted levels of the ground librational level of ammonium ion, local gap modes of ammonium ion and local librational energies are presented.

Перспективы нейтронной спектроскопии генерируемых ультразвуком и гиперзвуком связанных мультифононных солитонов и бисолитонов нового типа

О.А. Дубовский, А.В. Орлов

Физико-энергетический институт им. А.И. Лейпунского, Обнинск, Россия

На нейтронном спектрометре ДИН-2ПИ в ОИЯИ проводятся измерения спектров акустических и оптических колебаний кристаллических решеток топливных реакторных материалов с целью изучения термодинамических характеристик этих материалов, необходимых для оптимизации энергетического баланса в ядерных реакторах. Проведенные измерения спектров колебаний нитрида урана и анализ теплопроводности показали, что в температурной зависимости коэффициента теплопроводности присутствуют локальные дополнительные максимумы. Было показано, что особенности температурной зависимости коэффициента теплопроводности связаны с термическим возбуждением в кристаллических решетках при высокой температуре высокоамплитудных нелинейных колебаний солитонного, в квантовой теории связанного мультифононного типа. Ранее в ряде экспериментальных работ исследовались характеристики рассеяния нейтронов на материалах, подвергаемых облучению ультразвуком. В данном сообщении показано, что при импульсном воздействии ультразвука и гиперзвука определенного типа на кристаллические материалы в дополнение к известным типам солитонных и бризерных возбуждений генерируются солитоны и бисолитоны принципиально нового типа. С использованием межатомного потенциала Леннарда – Джонса получены решения нелинейных динамических уравнений при генерации гиперзвуком в кристаллических материалах колебательных возбуждений различного типа. В дополнение к известным сверхзвуковым солитонам сжатия обнаружены дозвуковые солитоны, пересекающие, что необычно, в фазовой плоскости дисперсионную кривую фононов. Впервые в рамках метода молекулярной динамики обнаружены бисолитоны нового типа, лишь в некоторой степени аналогичные бисолитонам, ранее найденным авторами с использованием аналитического подхода. Исследована спектральная плотность колебаний и показано, что дисперсионная кривая бисолитонов примыкает с низкочастотной стороны к дисперсионной кривой солитонов обычного типа. Определены основные амплитудно-спектральные характеристики солитонов и бисолитонов нового типа в решетках урана и плутония. Полученные в безразмерном представлении результаты кроме урана и плутония могут использоваться и для других одноатомных материалов. Исследованные нелинейные волны солитонного типа определяют динамику ранней стадии процессов испарения и взрывного разрушения материалов.

Исследования проведены при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Правительства Калужской области.

Спиральные магнитные структуры в кубических перовскитах

С.М. Дунаевский

Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия

Известно, что в зависимости от химического состава и степени легирования оксиды переходных элементов с кристаллической структурой перовскита (манганиты, кобальтиты и др.) могут иметь различные типы магнитного упорядочения. Наряду с ферромагнитными и простыми антиферромагнитными (АФ) структурами типа G , A и C , в этих соединениях возникают и более сложные магнитные структуры. Наиболее известными примерами такого рода являются структуры типа CE [1], E [2], а также ферримагнитная H -фаза [3], наблюдаемая в сильных магнитных полях. Все упомянутые выше магнитные фазы являются коллинеарными. На эксперименте, однако, в нелегированных манганитах наблюдаются не только коллинеарные, но и спиральные магнитные структуры, которые допускают возникновение спонтанного электрического момента. Заметим, что неколлинеарные магнитные структуры наблюдаются не только в манганитах $TbMnO_3$ и $HoMnO_3$, но и в кубических перовскитах железа (ферратах) $SrMnO_3$ и $BaMnO_3$.

В большинстве перовскитов магнитная структура образована t_{2g} электронами, которые считаются локализованными. Для диагонализации взаимодействия между e_g и t_{2g} электронами на каждом магнитном атоме i вводится локальная система координат с осью Z_i вдоль локального спина S_i и используются хорошо известные правила преобразования компонент спинора при вращении локальной системы координат. В качестве модельного гамильтониана, описывающего свойства оксидов со структурой перовскита, используется стандартный модельный гамильтониан двойного обмена, содержащий матрицы преобразования компонент спинора. При вращениях вокруг одной оси трансляционная инвариантность решетки сохраняется, что позволяет использовать теорему Блоха для построения волновой функции и рассчитывать спектр $E(k)$ неколлинеарных магнитных структур. Основным результатом преобразования (4) является появление недиагональных по спиновым индексам матричных элементов гамильтониана между ближайшими соседями. В работе [4] приведены матрицы гамильтониана, соответствующие спиральным A и C структурам манганитов.

Настоящая работа посвящена детальному изучению одномерных спиральных структур манганитов в случае конечного хундовского взаимодействия. В работе показано, что образование магнитной спирали зависит от заполнения нижней зоны, минимум энергии которой лежит в точке $q=0$, $k=0$. Для полностью заполненной нижней зоны минимуму полной энергии соответствуют “плоская” спираль, когда $q_0 = \pi/2a_0$, а $\Delta\varphi = \pi$. Если зона заполнена не целиком, то минимуму полной энергии отвечает спираль с $q \neq \pi/2a_0$. С ростом числа дырок в нижней зоне основным состоянием становится ферромагнитное состояние с $q = 0$. Кроме того, в работе получен спектр трехмерной спиральной структуры, у которой все локальные магнитные моменты в плоскости XY параллельны. Результаты работы качественно совпадают с результатами “ab-initio” расчетов ряда геликоидальных магнитных структур.

- [1] E.O. Wollan, W.C. Koehler. Phys. Rev. **100**, 545 (1955).
- [2] T. Hotta, M. Moraghebi, A. Feiguin, A. Moreo, S. Yunoki, E. Dagotto. Phys. Rev. Lett. **90**, 247203 (2003).
- [3] С.М. Дунаевский, В.В. Дериглазов, ФТТ **46**, 495 (2004).
- [4] С.М. Дунаевский, ФТТ **53**, 86 (2011).

Исследование внутренней структуры аморфных сферических микрочастиц SiO₂ методами малоуглового рассеяния нейтронов и синхротронного излучения

К.В. Воронина¹, Н.А. Григорьева², М.В. Арефьев²,
А.А. Мистонов², Г.П. Копица¹, С.В. Григорьев^{1,2}

¹Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия

²Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

В настоящее время частицы диоксида кремния активно используются в разных областях, таких как информационные и коммуникационные технологии, медицина и биология, охрана окружающей среды. Субмикронные и нанометровые сферические частицы аморфного диоксида кремния, исследуемые в данной работе, получили модифицированным методом Штобера-Финка-Бона. В работах Масалова В.М. и др. было предположено, что крупные сферические частицы диоксида кремния (с диаметром более 1 $\mu\text{м}$) представляют собой третичные образования и состоят из более мелких сферических частиц (вторичные образования). В свою очередь вторичные частицы состоят из ещё более мелких сферических первичных частиц с диаметром около 5-10 нм. В результате, образующиеся сферические частицы аморфного диоксида кремния обладают иерархической внутренней структурой фрактального типа.

В настоящей работе внутренняя структура SiO₂-частиц исследована методами SANS (на установке “Yellow submarine” реактора BNC, Будапешт, Венгрия) и SAXS (на голландско-бельгийской линии BM-26B, ESRF, Гренобль, Франция).

Из анализа данных малоуглового рассеяния, представленных на рисунке, были установлены следующие особенности внутренней структуры микросфер:

- 1) Исследуемые частицы диоксида кремния с диаметрами 380–1800 нм состоят из маленьких частиц (первичные частицы) размером порядка 14 нм.
- 2) Фрактальная размерность поверхности первичных частиц равна от 2.1 до 2.9 для образцов с различными диаметрами.
- 3) Пространственное расположение первичных частиц характеризуется моделью ближнего порядка.

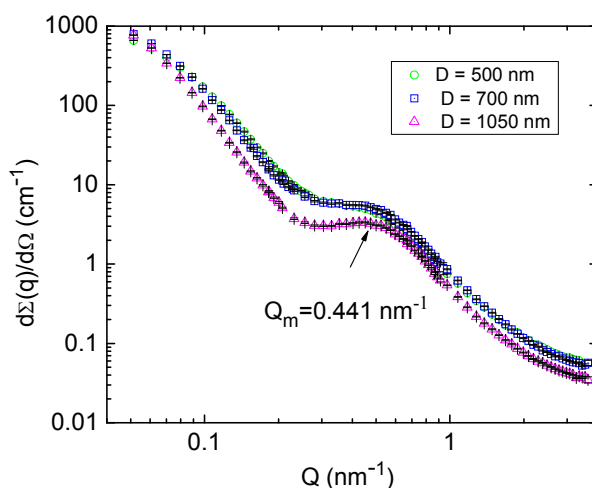


Рис. Зависимости сечения рассеяния нейтронов $d\Sigma(q)/d\Omega$ от переданного импульса Q частицами SiO₂ различного диаметра.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 10-02-00634), программы «Дмитрий Менделеев» и программой фундаментальных исследований «Основы фундаментальных исследований нанотехнологий и наноматериалов» Президиума РАН № 21. Авторы выражают благодарность доктору В.Х. Бауману (Дельфт, Голландия) за проявленный интерес и полезные дискуссии.

Исследование мезоструктуры биоактивных покрытий для каменных материалов на основе эпоксисилоксановых зольей, модифицированных наноалмазами

Т.В. Хамова¹, О.А. Шилова¹, Г.П. Копица², L. Almásy³, В.К. Иванов⁴

¹ *Институт химии силикатов РАН, Санкт-Петербург, Россия*

² *Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия*

³ *Research Institute for Solid State Physics and Optics, Budapest, Hungary*

⁴ *Институт общей и неорганической химии РАН, Москва, Россия*

Настоящая работа посвящена исследованию структуры биоактивных гибридных органо-неорганических нанокпозиционных покрытий, формируемых на основе эпоксисилоксановых зольей, как модифицированных, так и немодифицированных наноалмазами детонационного синтеза (ДНА). Такие покрытия перспективны для защиты каменных памятников культурного наследия от биоразрушений микробными семействами, а также представляют интерес для придания металлическим конструкциям антифрикционных свойств.

Исследования морфологии поверхности покрытий проводили с привлечением методов атомной силовой микроскопии и сканирующей электронной микроскопии. Внутреннюю структуру покрытий на мезоскопическом масштабе анализировали методом малоуглового рассеяния нейтронов (МУРН) на образцах ксерогелей, синтезированных на основе описанных зольей.

Измерения МУРН были проведены на установке “Yellow submarine” (реактор BNC, Будапешт, Венгрия), работающей в геометрии, близкой к точечной. Измерения проводились на двух длинах волн нейтронов $\lambda = 0.46$ и 1.2 нм, $\Delta\lambda/\lambda = 18\%$. Использование двух дистанций образец-детектор $SD = 1.3$ и 5.6 м позволяло измерять интенсивность рассеяния нейтронов в диапазоне переданных импульсов $5 \cdot 10^{-2} < q < 3.7$ нм⁻¹.

Из комплексного анализа экспериментальных данных установлено, что для полученных эпоксисилоксановых покрытий характерно фазовое расслоение и, по-видимому, формирование структуры взаимопроникающих сеток. Процессы агрегации в кремнезолях в присутствии эпоксидной составляющей происходят с образованием сетчатой структуры по типу массового фрактала. Обнаружено, что введение в эпоксисилоксановые покрытия незначительных добавок ДНА позволяет повысить как фрактальную размерность, так и верхнюю границу самоподобия.

Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН № 24 «Фундаментальные основы технологии наноструктур и наноматериалов», Программы “СТАРТ-11” (проект 11-2-Н5.1-0177).

Структура и свойства агрегатов fotocувствительного поверхностно-активного вещества азотаб в растворе и его комплексов с РНК

Т.Н. Муругова^{1,2}, О.И. Иваньков^{1,3}, Н.К. Осина², А.Х. Исламов^{1,2}, А.Н. Жигунов⁴,
К.И. Агладзе^{2,5}

¹ Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

² Бионаносертор Московского физико-технического института, Долгопрудный, Россия

³ Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко, Киев, Украина

⁴ Институт макромолекулярной химии АН ЧР, Прага, Чехия

⁵ Университет г. Киото, Киото, Япония

Молекула азобензен триметиламмоний бромид (АзоТАБ) подвержена fotocувствительной изомеризации: молекула принимает цис- и транс-конформацию в зависимости от длины волны падающего света (рис. 1).

Информация о поведении агрегатов поверхностно-активных веществ (ПАВ) в растворе имеет фундаментальное значение в понимании и моделировании их взаимодействия с другими макромолекулами (например, синтетическими и биологическими полимерами). Существует ряд работ, демонстрирующих применение света для манипуляции светочувствительными молекулами [1-3]. Также, в частности, была показана возможность «фотопереключения» конформации ДНК в присутствии молекул АзоТАБ [4-6]. Таким образом, исследование связывания нуклеиновых кислот со светочувствительными молекулами является перспективным направлением в области доставки генетического материала в клетки.

В данной работе с помощью малоуглового рассеяния исследовались концентрационные и температурные зависимости свойств и структуры агрегатов АзоТАБ в растворе, а также комплексов АзоТАБ с РНК. Исследовано влияние ультрафиолетового излучения на данные агрегаты.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Правительства РФ для государственной поддержки научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых в российских образовательных учреждениях высшего профессионального образования (№ 11.G34.31.0015, руководитель К.И. Агладзе). Выражаем благодарность за финансовую поддержку программе НИУ и группе «ONEXIM».

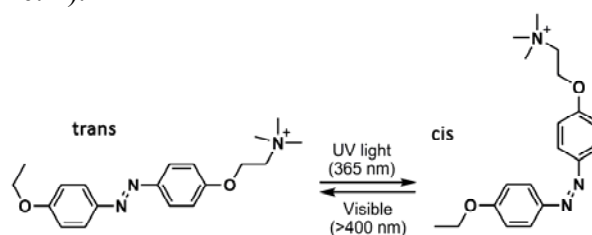


Рис. 1. Фотоизомеризация молекулы АзоТАБа.

- [1] S. Rudiuk, H. Saito, T. Hara, T. Inoue, K. Yoshikawa and D. Baigl, *Biomacromolecules* **12** (11), 3945-3951 (2011).
- [2] S.-C. Wang, P. Mirarefi, A. Faraone and C.T. Lee, *Biochemistry* **50** (38), 8150-8162 (2011).
- [3] A. Estévez-Torres, C. Crozatier, A. Diguët, T. Hara, H. Saito, K. Yoshikawa and D. Baigl, *Proceedings of the National Academy of Sciences* **106** (30), 12219-12223 (2009).
- [4] A.-L. M. Le Ny and C.T. Lee Jr, *Biophysical Chemistry* **142** (1-3), 76-83 (2009).
- [5] Y.L. Sun, N.K. Mani, D. Baigl, T. Gisler, A.P. Schroder and C.M. Marques, *Soft Matter* **7** (12) (2011).
- [6] S. Rudiuk, K. Yoshikawa and D. Baigl, *Soft Matter* **7** (12) (2011).

Исследование модельных липидных мембран на основе церамида 6 с помощью дифракции синхротронного излучения

А.Ю. Грузинов¹, О.Л. Орелович², Е.В. Ермакова²,
А.В. Забелин¹, О.В. Найда¹, М. А. Киселев^{2, 1}

¹НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия

²Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

Основной путь проникновения лекарств через кожу лежит через её верхний роговой слой – stratum corneum (SC). Основой липидной матрицы SC являются разные типы церамидов. Варьируя состав и концентрацию компонентов, можно приблизить модельные мембраны по свойствам к нативным [1, 2].

Проведенные исследования на синхротронном источнике Сибирь-2 НИЦ «Курчатовский институт» показали, что изменение pH и температуры приводит к изменению фазового состава образца, в то время как ламеллярная структура остается неизменной в широких температурных пределах. На уровне наноструктуры обнаружены кристаллические свойства.

С помощью электронной микроскопии также показано, что модельная мембрана, построенная из церамида 6, имеет свойство переходить в поликристаллическую форму. Полученные экспериментальные данные могут быть использованы при развитии методик увеличения проницаемости кожи человека для адресной транспортировки лекарств и фармацевтических препаратов.

[1] M.A. Kiselev, N.Yu. Ryabova, A.M. Balagurov, S. Dante, T. Hauss, J. Zbytovska, S. Wartewig, R.H.H. Neubert., *European Biophys. J.* 34 (2005) 1030–1040.

[2] M.A. Kiselev, *Crystallography Reports*, 52 (2007) 525-528.

Моделирование данных малоуглового нейтронного рассеяния и нейтронного спин-эхо при исследовании биомакромолекул методами молекулярной динамики

А.В. Швецов, Д.В. Лебедев, В.В. Исаев-Иванов

Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия

Благодаря бурному развитию вычислительной техники, в последние годы одним из наиболее активно развивающихся методов теоретического исследования биологических систем является метод молекулярной динамики в периодических водных боксах. Этот метод позволяет строить модели различного уровня детализации для биологических систем на широком диапазоне размеров систем и широком диапазоне времен. Такие модели позволяют рассматривать явления, связанные с крупномасштабной конформационной динамикой белков и их комплексов на атомарном уровне, что позволяет находить подвижные домены в белках и строить модели конформационной подвижности белков, пригодные для интерпретации данных малоуглового рассеяния нейтронов и рентгеновских лучей.

В данной работе мы продемонстрировали применение методов молекулярной динамики белков на примере ДНК-связывающих белков, таких как RecA из *E.coli* и *D. Radiodurans*, а также гликопротеинов, таких как белок глюкоамилаза из *Aspergillus awamori*. Для этих систем на кластере НИЦ «Курчатовский институт» были проведены расчеты МД и, используя разработанные алгоритмы, реализованные в виде дополнительных модулей для кодовой базы GROMACS, были смоделированы спектры малоуглового нейтронного рассеяния и нейтронного спин-эхо. Для белков RecA из *D. Radiodurans* и *E.coli* была показана возможность сравнения и совместной интерпретации данных малоуглового рассеяния нейтронов, нейтронного спин-эхо и данных, полученных с помощью моделирования молекулярной динамики. На примере гликопротеина глюкоамилазы из *Aspergillus awamori* была продемонстрирована возможность интерпретации данных малоуглового рассеяния нейтронов при различных температурах.

Моделирование МУРН с использованием данных метода молекулярной динамики. Растворы насыщенных монокарбоновых кислот

Р.А. Еремин¹, Х.Т. Холмуродов^{1,2}, В.И. Петренко^{1,3}, М.В. Авдеев¹, Л. Рошта⁴

¹*Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия*

²*Международный университет «Дубна», Дубна, Россия*

³*Киевский национальный университет им. Т. Шевченко, Киев, Украина*

⁴*Будапештский нейтронный центр, Будапешт, Венгрия*

В настоящее время метод малоуглового рассеяния нейтронов (МУРН) широко применяется при анализе структурных свойств коллоидных систем. Характерный размер неоднородностей, которые могут быть исследованы в рамках метода, находится в диапазоне от 1 до 100 нм. Можно предполагать, что вблизи нижнего предела разрешения метода, например, в случае молекулярных растворов, специфическая организация молекул растворителя обуславливает изменение эффективной плотности длины рассеяния (ПДР) в окрестности молекул растворенного вещества и тем самым влияет на получаемые результаты. Таким образом, для описания данных МУРН информация об организации растворителя вблизи поверхности растворенного вещества крайне необходима.

Целью настоящей работы было исследование возможности применения метода классической молекулярной динамики (МД) при анализе кривых МУРН. По данным МД была определена локальная структура растворителя (декалина) на границе молекул насыщенных монокарбоновых (миристиновой, C14, и стеариновой, C18) кислот и построены модели распределений ПДР в растворе.

Монокарбоновые кислоты, которые используются для стабилизации магнитных наночастиц феррожидкостей (магнитных жидкостей) имеют размер порядка 2 нм. А широко используемый органический неполярный растворитель, декалин (C₁₀H₁₈), имеет сравнимый размер молекулы порядка 1 нм. Изучение влияния организации растворителя вокруг молекул кислот, может быть полезно для дальнейших структурных исследований магнитных жидкостей, а также предоставить дополнительную информацию для детального описания и полного понимания процесса приготовления феррожидкостей на микроскопическом уровне.

Эксперименты по МУРН на растворах указанных кислот в декалине были проведены на стационарном исследовательском реакторе Будапештского нейтронного центра (Венгрия). С целью снижения уровня некогерентного фона был использован дейтерированный растворитель. Расчеты по МД моделированию проводились на параллельном кластере центрального информационно-вычислительного комплекса ОИЯИ (Лаборатория информационных технологий).

В ходе работы были рассмотрены 3 различные модели для расчета спектров МУРН. В рамках первой из них, при анализе данных МУРН не учитывался вклад в рассеяние растворителя. Исследование локальной структуры растворителя показало существенное изменение ПДР в направлении перпендикулярном молекулам кислот вплоть до 10 Å для обоих растворов. В рамках третьей модели дополнительный учет изменения ПДР растворителя в направлении оси молекулы (в указанных ранее масштабах) позволил достичь приемлемого уровня совпадения расчетных и экспериментальных данных (параметров Гинье, интенсивностей рассеяния в нулевой угол и других). Таким образом, подход МД моделирования может эффективно использоваться для получения дополнительной информации о структуре систем, исследуемых с помощью МУРН.

Анализ данных нейтронной спектроскопии аморфных сплавов Zr-Be

Н.А. Клименко¹, Ю.В. Лисичкин¹, Г.Ф. Сырых²

¹ Институт атомной энергии НИЯУ «МИФИ», Обнинск, Россия

² НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия

Представлены результаты анализа измерений структурно-динамических характеристик аморфных сплавов **Zr_{100-x}Be_x** (**x = 30, 40 и 50**), выполненных на нейтронном спектрометре в Институте Лауэ-Ланжевена (Гренобль, Франция) при температурах 300 и 20 К. На основе усреднения дважды-дифференциальных сечений рассеяния (ДДСР) по нескольким достаточно широким диапазонам углов рассеяния показана вполне удовлетворительная применимость некогерентного приближения к усреднённым ДДСР (неупругая часть). Это позволило получить парциальные плотности распределения частот колебаний для атомов циркония $G(w)_{\text{Zr}}$ и бериллия $G(w)_{\text{Be}}$, которые описывают усреднённые экспериментальные ДДСР лучше, чем имеющиеся в литературе теоретические данные (Братковский А.М. и др., 1991). Используя полученные из этого же эксперимента упругие структурные факторы и восстановленные парциальные $G(w)_{\text{Zr}}$ и $G(w)_{\text{Be}}$, определена матрица однофононного когерентного рассеяния для каждого из образцов. Указанные данные позволили сформулировать приближённую модель структурно-динамических факторов сплавов **Zr-Be** в широком интервале передач импульса и энергии, достаточном для учёта эффектов многократного рассеяния. Проведены оценки парциальных структурно-динамических факторов в области неупругого рассеяния на основе различных приближений.

Динамика молекулы воды, адсорбированной кремнеземом и смолой СГК-7

Ю.В. Лисичкин¹, Л.А. Сахарова², А.А. Туманов²

¹Институт атомной энергии НИЯУ «МИФИ», Обнинск, Россия

²ГНЦ РФ – Физико-энергетический институт, Обнинск, Россия

В докладе представлены данные нейтронной спектроскопии динамики молекулы легкой воды, адсорбированной на поверхности пирогенного кремнезема и в ионообменной смоле СГК-7. Измерения проводились на спектрометре ДИН-2ПИ (ЛНФ ОИЯИ, г. Дубна). Для выделения эффекта от легкой воды в случае смолы СГК-7 также измерялся образец, гидратированный в тяжелой воде. Из экспериментальных данных определены характеристики диффузионного и колебательного движения адсорбированных молекул воды.

Полученные результаты показывают существенную заторможенность диффузионной подвижности адсорбированных молекул воды по сравнению с обычной (объемной) водой. В частности, коэффициент самодиффузии уменьшается в несколько раз, причем диффузия заторможена тем сильнее, чем меньше толщина гидратного слоя. Зависимость интенсивности квазиупругого рассеяния от величины изменения импульса нейтрона при рассеянии q показывает немонотонный характер, свидетельствующий о проявлении эффектов ограниченной трансляционной диффузии, а также вращательных перескоков и диффузии. Из данных по неупругому рассеянию нейтронов получены парциальные распределения частот колебаний атома водорода молекул воды, адсорбированной кремнеземом и смолой.

Сессия III: Магнетизм и поляризованные нейтроны

Чему нас научил MnSi

С.В. Малеев

Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия

Свойства кристаллов без центра инверсии, таких как кварц, давно изучены оптическими методами. Марганец-кремний, по-видимому, первый магнетик без центра инверсии привлечший внимание, как экспериментаторов, так и теоретиков. В исследовании его свойств решающую роль сыграли поляризованные нейтроны. В настоящее время имеется ряд других нецентросимметричных магнетиков. Мы укажем здесь сверхтонкие магнитные пленки и мультиферроики. Отсутствие центра инверсии разрешает взаимодействие Дзялошинского-Мория (ВДМ), которое по величине является следующим за обманом. В результате ферро или антиферромагнитный порядок превращается в несоразмерную спираль. ВДМ определяет ее структуру, период и киральность. Более того, ВДМ приводит к принципиально новым явлениям:

1. Смешиванию спиновых волн с импульсами, отличающимися на волновой вектор спирали \mathbf{k} . В результате при фиксированном переданном импульсе имеет место много спин-волновых мод.

2. ВДИ нарушает инвариантность по отношению к сдвигу вектора \mathbf{k} и приводит к спин-волновой щели.

В классическом приближении на спираль действует только компонента магнитного поля, перпендикулярная плоскости вращения спинов. Другие компоненты приводят к Бозе-конденсации спиновых волн, определяющей поведение в магнитном поле.

Исследование квантовой критичности в $\text{Mn}[1-x]\text{Fe}[x]\text{Si}$ с помощью МУРПН

Е.В. Москвин

Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия

Проведено исследование магнитной структуры и спиновых флуктуаций в допированных соединениях с общей формулой $\text{Mn}[1-x]\text{Fe}[x]\text{Si}$ вблизи точки квантового фазового перехода ($x=0.15$). Соединения с $x=0.1, 0.15, 0.16, 0.20$ были изучены с помощью метода измерения восприимчивости и метода малоуглового рассеяния поляризованных нейтронов. Получены температурные и полевые зависимости обратной корреляционной длины, восприимчивости и волнового вектора структуры для всех соединений. Во всех соединениях полного упорядочения магнитной структуры не наблюдалось. Экстраполяция температурных зависимостей в $T=0$ подтверждает предположение об их близости к квантовому фазовому переходу.

**Гексагональная спиновая структура А-фазы в MnSi:
плотная упаковка скирмионных квазичастиц или двумерная сверхструктура**

С.В. Григорьев^{1,2}, Н.М. Потапова¹, Е.В. Москвин^{1,2},
В.А. Дядькин¹, Ch. Dewhurst³, С.В. Малеев¹

¹ Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия

² Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

³ Институт Лауэ-Ланжевена, Гренобль, Франция

Методом малоуглового рассеяния нейтронов детально изучена магнитная структура кубического спирального магнетика MnSi в небольшой области (H-T)-фазовой диаграммы (А-фазе). Магнитная структура А-фазы характеризуется в пространстве импульсов двумерной гексагональной картиной 6 брэгговских пиков с $\mathbf{k}_{h(1,2,3)}$, перпендикулярными приложенному магнитному полю \mathbf{H} [1]. В современной литературе эта структура получила название скирмионной решетки [1-3]. Авторы работ [1-3] предлагают для описания этой структуры концепцию плотной упаковки скирмионных квазичастиц, подобным вихрям магнитного поля в сверхпроводниках второго рода.

В нашей работе мы приводим аргументы в пользу того, что наблюдаемая структура является двумерной гексагональной спиновой сверхрешеткой, образующейся из-за конкуренции двух взаимодействий (ферромагнитного обмена и взаимодействия Дзялошинского–Мория), подобно одномерным модуляциям спиновой структуры (плоская спираль, коническая спираль). Во-первых, установлено, что волновой вектор двумерной гексагональной структуры \mathbf{k}_h с точностью до 2 % равен волновому вектору конической фазы \mathbf{k}_c . Во-вторых, направление и величина волновых векторов $\mathbf{k}_{h(1,2,3)}$ остаются неизменными во всем кристалле размером 100 мм³, но лишь в области А-фазы, небольшой области (H-T) фазовой диаграммы ниже $T_C = 29$ К. За пределами А-фазы обнаружены капли разориентированной, предположительно гексагональной, спиновой структуры с \mathbf{k}_h перпендикулярным полю \mathbf{H} в диапазоне полей от $B_{T1} = 0.1$ Тл до $B_{T2} = 0.25$ Тл, и вплоть до низких температур $T = 25$ К. При этом не обнаружено никакого распада этих капель на индивидуальные, случайно разбросанные в пространстве скирмионы. На основе анализа полученных данных, мы заключили, что наблюдаемая структура не является плотноупакованной скирмионной решеткой, а оказывается примером сложной (двумерной) модуляции спинов в магнетиках.

Работа выполнена в рамках государственных контрактов No.02.740.11.0874 и 07.514.12.4003.

[1] S. Muhlbauer, B. Binz, F. Jonietz, C. Pfleiderer, A. Rosch, A. Neubauer, R. Georgii, and P. Boni, Science 323, 915 (2009).

[2] U.K. Rossler, A.N. Bogdanov, and C. Pfleiderer, Nature 442, 797 (2006).

[3] U.R. Rossler, A.A. Leonov, A.N. Bogdanov, Journal of Physics: Conference Series **303** (2011) 012105.

Некоторые аспекты применения метода малоуглового рассеяния поляризованных нейтронов в изучении функциональных материалов

В.В. Рунов

Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия

Из многочисленных аспектов применения метода малоуглового рассеяния поляризованных нейтронов (SAPNS) в исследованиях материалов в докладе предполагается рассмотреть три примера исследований:

1. Мезоскопической структуры, спиновых корреляций и спиновой динамики в сплавах Гейслера с магнитной памятью формы: Ni-Mn-Ga, Fe-Mn-Ga. Метод позволяет наблюдать одновременно магнитный и мартенситный фазовые переходы, и спиновую динамику при малых переданных импульсах. Показано, что при определенных соотношениях компонент сплавов в этих материалах наблюдается совмещенный магнитоструктурный переход.

2. Распределения магнитных примесей в немагнитных материалах. В экспериментах измеряется деполяризация нейтронов в образцах и магнитно-ядерная интерференция. Приведены результаты измерений ферромагнитных корреляций в сплаве CuZn(20) с примесью Ni (1 ат.%) при различной термообработке образцов. Показано, что Ni кластеризуется в CuZn матрице с характерным радиусом корреляций $100 < R_c < 5000 \text{ \AA}$ в зависимости от термообработки образцов. Определен вид кросс-коррелятора, определяющего магнитно-ядерную интерференцию. Найдено, что немагнитная матрица CuZn(20) с почти равномерным распределением 1% примеси Ni обладает метамагнитными свойствами в поле $H \approx 0.5 \text{ Т}$ при комнатной температуре.

3. Магнитно-ядерных кросс-корреляций в магнитных материалах. На примере SAPNS измерений в сплавах Р91 демонстрируется высокая чувствительность и возможность оценки размеров образующихся при термообработке фаз, которые имеют другой магнитно-ядерный контраст.

Применение поляризованного микропучка нейтронов для исследования магнитной микроструктуры

С.В. Кожевников¹, F. Ott^{2, 3}, A. Thiaville⁴, J. Torrejón⁴

¹ Объединённый институт ядерных исследований, Дубна, Россия

² CEA, IRAMIS, Laboratoire Léon Brillouin, Gif sur Yvette, France

³ CNRS, IRAMIS, Laboratoire Léon Brillouin, Gif sur Yvette, France

⁴ Université Paris-sud, CNRS, Orsay, France

Информация об исследуемой структуре с помощью рассеяния нейтронов усредняется по ширине пучка, которая обычно составляет 0,1-10 мм. Для исследования микроструктур с высоким пространственным разрешением требуются микропучки нейтронов шириной 0,1-10 мкм. До сих пор с помощью различных фокусирующих устройств удавалось получить микропучки шириной более 50 мкм.

В работе [1] экспериментально показано, что волноводы на основе тонких плёнок эффективно преобразуют сравнительно широкий и коллимированный нейтронный пучок в узкий, но более расходящийся когерентный микропучок. В нашей работе [2] экспериментально продемонстрировано сочетание немагнитного волновода и рефлектометра поляризованных нейтронов для создания поляризованного микропучка нейтронов.

В настоящей работе мы применили полученный поляризованный микропучок шириной 2 мкм для исследования магнитной проволоочки диаметром 190 мкм с центральной частью диаметром 10 мкм [3]. В таких аморфных ферромагнитных микропроволочках наблюдается формирование осевых доменов в узкой центральной части и круговых доменов вне этой области. Эти магнитные микроструктуры обладают разнообразными физическими свойствами и потенциально могут применяться в различных магнитных сенсорах.

Наш эксперимент состоял в пространственном сканировании по диаметру проволоочки поляризованным микропучком при изменении величины и направления приложенного магнитного поля. При этом измерялись четыре спиновых состояния нейтронов. Получено пространственное распределение поляризации микропучка по сечению проволоки. Таким образом, проведён первый эксперимент с использованием поляризованного микропучка нейтронов шириной 2 мкм.

[1] F. Pfeiffer, V. Leiner, P. Høghøj, I. Anderson, Phys. Rev. Lett. 88, 055507 (2002).

[2] S.V. Kozhevnikov, A. Rühm, J. Major, Crystallogr. Rep. 56, 1207 (2011).

[3] J. Torrejón, A. Thiaville, A.L. Adenot-Engelvin, et al., J. Mag. Mag. Mater. 323, 283 (2011).

Температурный гистерезис магнитных фазовых переходов в $\text{Tb}_{(1-x)}\text{Ce}_x\text{Mn}_2\text{O}_5$ ($x=0.2, 0.25$)

И.А. Зобкало¹, С.В. Гаврилов¹, В.А. Санина², Е.И. Головенчиц²

¹ *Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия*

² *Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия*

Обменно-фрустрированные мультиферроики RMn_2O_5 вызывают особый интерес в последнее время. В этих соединениях очень ярко проявляются магнитоэлектрические взаимодействия, что создает предпосылки для эффективного магнитного контроля за эффектами электрической поляризации. Вследствие магнитного вырождения в системах RMn_2O_5 из-за конкуренции близких по величине обменных взаимодействий ближайших и следующих за ближайшими соседями, в системе происходит каскад магнитных фазовых переходов с появлением или исчезновением независимо как по оси a , так и оси c несоразмерной магнитной структуры.

Проведены исследования новых соединений $\text{Tb}_{1-x}\text{Ce}_x\text{Mn}_2\text{O}_5$ ($x = 0.20, 0.25$). Здесь впервые, с целью изменения магнитного взаимодействия между ионами Mn, используется допирование TbMn_2O_5 церием.

Методами рассеяния нейтронов, а также трехмерного поляризационного анализа рассеяния поляризованных нейтронов, нами проведены исследования температурной эволюции магнитной структуры $\text{Tb}_{1-x}\text{Ce}_x\text{Mn}_2\text{O}_5$. Установлено, что при температурах ниже $T_N \sim 39\text{K}$ (для $x = 0.2$), $T_N \sim 38\text{K}$ ($x=0.25$) происходит магнитное упорядочение в марганцевой подсистеме $\text{Tb}_{1-x}\text{Ce}_x\text{Mn}_2\text{O}_5$ с волновым вектором структуры $\mathbf{k}_1 = (0.5, 0, k_{z1})$, $k_{z1}=0.25$ – соразмерная фаза (СР). При дальнейшем охлаждении в системе появлялась вторая магнитная фаза с несоразмерным вектором $\mathbf{k}_2 = (1/2, 0, k_{z2})$, $k_{z2} = 0.256(2)$, при $T = 21\text{K}$ ($x=0.2$), 19K – $x=0.25$. При понижении температуры ниже 21K (19K) происходит следующая эволюция компонент векторов магнитной структуры: k_{z2} изменяются до $0.292(2)$, и, начиная с температуры 16K , k_{z2} имеет постоянную величину; k_{z1} – начинает изменяться с температуры $\sim 15\text{K}$ и при $\sim 10\text{K}$ достигает величины $0.280(2)$, после чего остается постоянной вплоть до 1.5K . При повышении температуры наблюдается обратное изменение компонент векторов k_{z1} и k_{z2} к первоначальным значениям, однако эти изменения происходят при температурах примерно на 7 градусов выше, чем это было при понижении температуры.

Наблюдаемые нами температурные зависимости волновых векторов магнитных структур позволяют сделать заключение о том, что допирование церием частично снимает вырождение по обменному взаимодействию в $\text{Tb}_{1-x}\text{Ce}_x\text{Mn}_2\text{O}_5$. Оно также приводит к существованию двух независимых фаз в этой системе, при этом система остается мультиферроиком.

Работа поддержана грантами РФФИ 11-02-01363-а и МинОбрНауки № 16.518.11.7034.

Нематическая спиновая фаза в квазиодномерном фрустрированном магнетике, находящемся в сильном магнитном поле

А.В. Сыромятников

Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия

Теоретически исследуется гейзенберговский квазиодномерный магнетик со спином $1/2$ и с конкурирующими ферромагнитным J_1 и антиферромагнитным J_2 обменными взаимодействиями между ближайшими и следующими за ближайшими соседними спинами в цепочках. Хорошо известно, что если $|J_2/J_1| > 0.375$, то при уменьшении магнитного поля H в точке $H=H_s$, где H_s – поле насыщения, происходит квантовый фазовый переход не в магнитно упорядоченную фазу, а в спин-жидкостную фазу с нематическим (квадрупольным) порядком. Этот переход связывают с бозе-конденсацией связанных состояний двух магнонов. В настоящей работе предложен новый подход к описанию данного перехода. Получены выражения для спектра элементарных возбуждений в ферромагнитной ($H > H_s$) и нематической ($H < H_s$) фазах. Найдены простые выражения для статических спиновых корреляторов, которые, как показано, экспоненциально убывают с расстоянием. Вычислены намагниченность, нематический параметр порядка и спиновые функции Грина. Показано, что «мягкая мода» в нематической фазе может быть изучена в продольном канале. Обсуждается применение предложенной теории для описания свойств LiCuVO_4 . Обсуждается возможность проверки предложенной теории в нейтронных экспериментах.

Среда, 17 октября 2012 года

Сессия IV: Сильно коррелированные электронные системы

**Магнитные возбуждения в валентно-нестабильной системе TmTe
с антиферроквадрупольным упорядочением**

Е.С. Клементьев^{1, 2, 3}, А.А. Подлесняк⁴, Ж.-М. Миньо⁵

¹ Институт ядерных исследований РАН, Москва, Россия

² НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия

³ НИЯУ МИФИ, Москва, Россия

⁴ Окриджская национальная лаборатория, США

⁵ Лаборатория Леона Бриллюэна, Сакле, Франция

Система TmTe находится в фокусе внимания теоретиков и экспериментаторов благодаря нескольким обстоятельствам. Во-первых, она находится в ряду TmTe-TmSe-TmS, в котором происходит переход от диэлектрического состояния к металлическому и от двухвалентного состояния ионов Tm к трехвалентному через режим сильных валентных и спиновых флуктуаций. Строго говоря, уже в самом соединении TmTe ионы туллия являются валентно-нестабильными, что проявляется в спектрах неупругого рассеяния нейтронов. При приложении давления данная система становится Кондо-решеткой со значительной степенью делокализации $4f$ электронов. Во-вторых, TmTe демонстрирует необычное антиферроквадрупольное упорядочение при $T_Q=1.8$ К.

Ключевую роль в формировании основного состояния, квадрупольного и физических свойств TmTe играет основной $4f$ мультиплет ионов Tm, расщепленный в кристаллическом электрическом поле (КЭП) на квартет и два дублета. До настоящего времени информация об энергетическом масштабе расщепления и о последовательности уровней была противоречивой. С целью прямого определения схемы расщепления и волновых функций уровней КЭП был исследован магнитный спектральный отклик TmTe методом неупругого рассеяния нейтронов. Эксперименты проведены на монокристаллическом образце TmTe и на парамагнитном поликристалле $Tm_{0.1}Yb_{0.9}Te$, в котором нет квадрупольного упорядочения, на трехосном и времяпролетном спектрометрах. Ионы Yb находятся в немагнитном состоянии $2+$, поэтому систему можно рассматривать как парамагнитную примесь ионов Tm в немагнитной матрице. Была однозначно определена схема расщепления основного $4f$ мультиплета в КЭП, причем полный масштаб расщепления оказался аномально малым, а именно, равным 0.8 meV, что на порядок меньше, чем в родственных редкоземельных соединениях.

При допировании TmTe трехвалентными ионами La происходит металлизация системы, при этом масштаб расщепления в КЭП увеличивается на порядок. Подобная физическая картина противоречит распространенным представлениям о формировании потенциала КЭП в диэлектриках и металлах и о сильной экранировке потенциала КЭП электронами проводимости.

Современные нейтронные спектрометры по времени пролета

К.С. Немковский

Juelich Centre for Neutron Science, Garching, Germany

В докладе представлены текущее состояние и основные направления развития приборной базы ведущих нейтронных центров для проведения экспериментов по неупругому рассеянию нейтронов по методу времени пролета.

Особое внимание уделено специфике время-пролетного эксперимента на стационарных источниках нейтронов и импульсных источниках с длинным импульсом. Также обсуждается комплиментарность техники времени пролета и нейтронной спектроскопии с использованием трехосного спектрометра.

Магнитное упорядочение в структурно-гетерофазном манганитном $\text{Yb}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{MnO}_3$ мультиферроике

А.И. Курбаков¹, А.Л. Малышев¹, В.А. Трунов¹, Е.А. Церковная¹,
I.A. Abdel-Latif^{2, 3}, A. Al-Hajry³

¹ Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия

² Reactor Physics Dept., NRC, Atomic Energy Authority, Abou Zabaal, Cairo, Egypt

³ Najran University, Najran, Saudia Arabia

Представлены нейтронные дифракционные исследования температурной эволюции кристаллической и магнитной структуры допированных гетерофазных манганитов-мультиферроиков на примере $\text{Yb}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{MnO}_3$ соединения, приготовленного по стандартной керамической методике. Проведено сравнение с нелегированным YbMnO_3 .

Нейтронографические исследования выполнены на суперпозиционном порошковом дифрактометре ПИЯФ при комнатной и нескольких низких температурах.

Исследуемый $\text{Yb}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{MnO}_3$, что касается кристаллической структуры, соответствует двухфазному соединению. Легирование стронцием частично преобразует гексагональную структуру в более плотно упакованную ромбическую перовскитную фазу. Показано, что кристаллическая структура исследованного соединения остается неизменной во всем диапазоне температур от гелиевой до комнатной и соответствует смеси ромбической $Pbnm$ (содержащей Ян-Теллеровские Mn^{3+} ионы) и гексагональной $P6_3cm$ (без ЯТ ионов) фаз, а соотношение этих фаз остается неизменным при всех температурах (43%/57%) в хорошем соответствии с правилом рычага. Кристаллическая структура гексагональной фазы изоморфна нелегированному гексагональному YbMnO_3 . Ионы Mn лежат недалеко от центра тригональной бипирамиды. Хотя ионы Yb находятся на тройных осях, апикальные атомы кислорода располагаются на разных расстояниях, что приводит к сегнетоэлектрическому поведению манганитов. Такая сложная кристаллическая структура $\text{Yb}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{MnO}_3$ соединения объясняется нами с точки зрения среднего размера А-катиона $\langle r_A \rangle = 1.149 \text{ \AA}$ и параметра несоответствия катионных размеров $\sigma^2 = \sum x_i r_i^2 - \langle r_A \rangle^2 = 0.01724 \text{ \AA}^2$ по сравнению с исходным соединением YbMnO_3 ($\langle r_A \rangle = 1.042 \text{ \AA}$, $\sigma^2 = 0$).

Возможные магнитных структур оценены из теоретического симметричного рассмотрения и результатов эксперимента. Мы показываем, что гексагональная и ромбическая фазы демонстрируют полностью различное магнитное поведение. Магнитное упорядочение гексагональной кристаллографической фазы проявляется при $T_N^h \approx 85 \text{ K}$ и представляет собой магнитную структуру со скошенным спиновым упорядочением магнитных моментов Mn в плоскости, $\Gamma 2$ -типа. Ионы Mn формируют хорошо разделенные треугольные слои, параллельные (ab) плоскости, с антиферромагнитным обменным взаимодействием между спинами самых ближайших соседей, что делает Mn спиновую подсистему низкоразмерной и фрустрированной. Фаза с ромбической кристаллографической структурой показывает магнитное упорядочение C-типа при $T_N^{ort} \approx 130 \text{ K}$. Магнитное упорядочение редкоземельных Yb ионов не зарегистрировано до $T = 2.6 \text{ K}$.

В результате продемонстрирована очень разная физика допированных манганитов-мультиферроиков на примере $\text{Yb}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ соединений, где частичное дырочное допирование позволяет проходить область от так называемых «геометрических» сегнетоэлектриков YMnO_3 -типа до «магнитных» сегнетоэлектриков TbMnO_3 -типа.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект 12-02-00073.

Scaling in Dynamic Susceptibility of Quantum Spin Liquids and Heavy-Fermion Metals and Neutron scattering

V.R. Shaginyan

B.P. Konstantinov Petersburg Nuclear Physics Institute, Gatchina, Russia

In the insulator herbertsmithite, an exotic strongly correlated quantum spin liquid (SCQSL) is formed with such hypothetical particles as fermionic spinons carrying spin $1/2$ and no charge. The key features of our findings are the presence of spin-charge separation and SCQSL formed with itinerant spinons in herbertsmithite. We show that herbertsmithite represents a fascinating experimental example of a new strongly correlated insulator. Thus, herbertsmithite can be viewed as a new type of strongly correlated electrical insulator that possesses properties of heavy-fermions metals with one exception: it resists the flow of electric charge. Presently herbertsmithite $\text{ZnCu}_3(\text{OH})_6\text{Cl}_2$ has been exposed as Heisenberg antiferromagnet on a perfect kagome lattice [1]. A frustration of simple kagome lattice leads to a dispersionless topologically protected branch of the spectrum with zero excitation energy known as the flat band. In this case the fermion condensation quantum phase transition can be considered as quantum critical point (QCP) of the herbertsmithite QSL composed of chargeless fermions with $S=1/2$ occupying the corresponding Fermi sphere with the Fermi momentum p_F [2-4]. The low-temperature specific heat follows the linear temperature dependence [3, 4]. These results suggest that the SCQSL state with essentially gapless excitations is realized in Herbertsmithite. In our report, we analyze the thermodynamic and relaxation properties, and unveil the fundamental properties of QSL, forming strongly correlated quantum spin liquid (SCQSL). Taking into account that inelastic neutron scattering (INS) is a unique tool for studying dynamic magnetic properties, we present a theory of the dynamic magnetic susceptibility of quantum spin liquid collected in inelastic neutron scattering measurements. The obtained results are in good agreement with experimental facts collected on herbertsmithite $\text{ZnCu}_3(\text{OH})_6\text{Cl}_2$ and on heavy-fermion metals, and allow us to predict a new scaling in magnetic fields of the dynamic susceptibility. Under the application of strong magnetic fields quantum spin liquid becomes completely polarized. We show that this polarization can be viewed as a manifestation of gapped excitations when investigating the spin-lattice relaxation rate. Magnetic response of herbertsmithite displays scaling relation in the bulk ac susceptibility, with the low temperature heat capacity strongly depending on magnetic field [3, 4]. This scaling is seen in certain heavy-fermion metals as a signature of proximity to a quantum critical point.

[1] L. Balents, *Nature* **464**, 199 (2010).

[2] V. R. Shaginyan *et al.*, *Physics Reports* **492**, 31 (2010).

[3] V. R. Shaginyan, A.Z. Msezane, and K.G. Popov, *Phys. Rev. B* **84**, 060401(R) (2011).

[4] V.R. Shaginyan *et al.*, *EPL* **97**, 56001 (2012).

Нейтроннографическое исследование магнитных сегнетоэлектриков-релаксоров (BiFeO₃)_{1-x}(PbTiO₃)_x

И.В. Голосовский¹, С.Б. Вахрушев², М. Brunelli³, Z.-G. Ye⁴

¹ Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия

² Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия

³ Institute Laue-Langevin, Grenoble, France

⁴ Simon Fraser University, V5A 1S6, Burnaby, Canada

Нейтроннографические исследования системы твердых растворов (BiFeO₃)_{1-x}(PbTiO₃)_x выполнены на дифрактометрах D20 и D2B ИЛЛ. Показано, что система состоит из двух наноразмерных фаз: ромбоэдрической Bi(Fe,Ti)O₃ и тетрагональной Pb(Fe,Ti)O₃ с разным замещением Fe/Ti, в зависимости от состава. Средний размер наночастиц – 20-30 нм. Орторомбической фазы не обнаружено в пределах 1-2%. Ранние сообщения о наблюдении такой фазы рентгеновской дифракцией (1), по-видимому, являются артефактом, обусловленным анизотропным размерным эффектом. Это эффект приводит к нерегулярному изменению ширины рефлексов с переданным импульсом, что требует специального подхода при проведении профилевого анализа.

Из нейтрон-дифракционных спектров определены морфология, фазовый состав, структурные параметры, магнитный порядок и температурная и временная эволюция параметров для образцов с $x = 0.20; 0.24; 0.28; 0.30; 0.40$ и 0.50 , вне и внутри морфотропной границы.

Магнитный порядок в фазе Bi(Fe,Ti)O₃ соответствует известному антиферромагнитному порядку в BiFeO₃ (2). Несоразмерная компонента магнитной структуры не наблюдалась. Магнитный порядок в фазе Pb(Ti,Fe)O₃ является простой антиферромагнитной структурой с удвоением химической ячейки, т.е. волновой вектор $\mathbf{k} = [\frac{1}{2} \frac{1}{2} \frac{1}{2}]$. Обнаружено, что в фазе Pb(Ti,Fe)O₃ магнитный момент лежит, в пределах точности эксперимента, в плоскости перпендикулярной направлению 111. Его величина составляет около 4 μ_B при гелиевой температуре для всех составов, тогда как температура магнитного перехода зависит от состава. В фазе Bi(Fe,Ti)O₃ магнитный момент отклоняется от базисной плоскости, причем температурное поведение компонент вдоль гексагональной оси и в базисной плоскости разное, с разными температурами Нееля.

Температура упорядочения компоненты в базисной плоскости Bi(Fe,Ti)O₃ оказалось очень близкой к температуре упорядочения в системе Pb(Ti,Fe)O₃, что свидетельствует о магнитной связи двух систем. Это не удивительно, принимая во внимание наноразмерный характер фаз, что предполагает сильно развитый интерфейс между наночастицами с разным магнитным порядком и возможность proximity эффектов.

Магнитное поведение в составе (BiFeO₃)_{0.50}(PbTiO₃)_{0.50} сильно отличается от поведения близкого состава (BiFeO₃)_{0.60}(PbTiO₃)_{0.40}, а именно, структурной и магнитной аномалией около 23 К. Эта аномалия хорошо видна в температурном поведении магнитной восприимчивости, что было интерпретировано ранее как появление ферромагнитного момента (1). Хотя профилевого анализ не показывает ферромагнитный момент в пределах 0.5 μ_B , температурная зависимость интенсивности ядерных рефлексов показывает явный максимум вблизи 25 К, что может быть интерпретировано как появление слабого ферромагнитного момента.

Работа поддержана грантами РФФИ 10-02-00576, и МинОбрНауки № 16.518.11.7034.

[1] W.-M. Zhu, H.-Y. Guo, and Z.-G. Ye, PRB **78**, 014401, 2008.

[2] A. Palewicz, I. Sosnowska, R. Przeniosło and A.W. Hewat, Acta Physica Polonica A, **117**, 296, 2010.

Исследования структуры и конформаций звездообразных полимеров с фуллереновыми центрами ветвления

В.Т. Лебедев¹, Д. Торок², Л.В. Виноградова³

¹Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия

²Research Institute for Solid State Physics and Optics, Budapest, Hungary

³ФГБУ Институт высокомолекулярных соединений РАН, Санкт-Петербург, Россия

Обзор работ, выполненных в ПИЯФ НИЦ КИ, в области нейтронных исследований структуры и конформации полимеров в фуллереновыми центрами ветвления и привитыми лучами (полярные и неполярные, блок-сополимеры из звеньев разной полярности), различающихся химической природой и молекулярной массой (олигомеры из 4-10 звеньев, цепи со степенью полимеризации 70-400) в растворах. Обсуждается фактор структурирующего действия фуллеренового центра на растворитель, что ведет к упорядочению лучей в звездах, увеличению термодинамической жесткости цепей. Анализ поведения гетеролучевых звездообразных полимеров, включающих полярные и неполярные лучи (полистирол (ПС), *политрет-бутилметакрилат* (ПТБМА), поли-2-винилпиридин (П2ВП)) в растворителе низкой полярности (*дейтеротолуол*) позволил раскрыть физическую природу явлений внутренней сегрегации компонент, вызывающих радикальные изменения взаимодействия звезд, приводящих к их сборке в надмолекулярные структуры различной геометрии, в зависимости от химической природы лучей. Результаты демонстрируют возможности нейтронных методов для изучения многоуровневой структуры ансамблей звездообразных полимеров в растворах, указывают направления конструирования упорядоченных структур звездообразных полимеров с фуллереновыми центрами, способными играть ведущую роль в процессах самоорганизации звезд в виду высокой подвижности (поляризуемости) π -электронных систем фуллеренов взаимодействующих с полярными группами лучей, вызывающих упорядочение растворителя. Подтверждением этому служит обнаруженный с помощью рассеяния нейтронов эффект интенсивного структурирования растворов гибридных звезд с лучами полистирола ПС и ПТБМА.

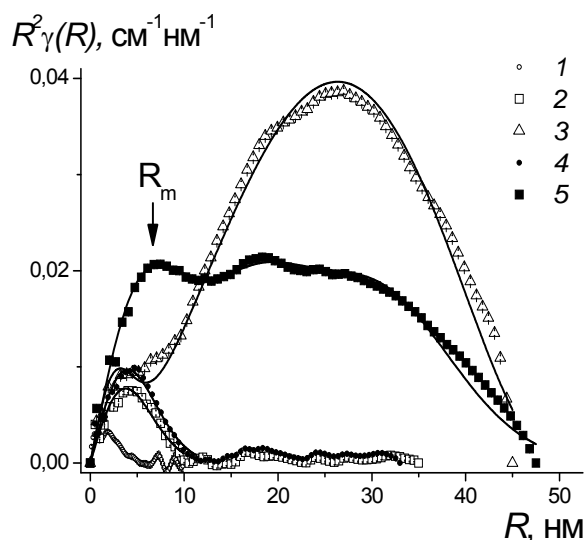
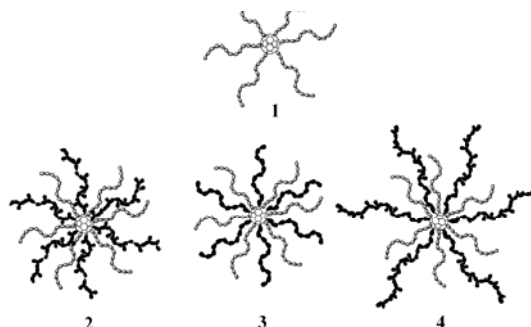


Рис. Корреляционные функции $R^2\gamma(R)$ в зависимости от радиуса R для линейного ПС-предшественника (1), 6-лучевого ПС, $(\text{ПС})_6\text{C}_{60}$ (2); гибридов $(\text{ПС})_6\text{C}_{60}(\text{ПТБМА})_6$ (3), $(\text{ПС})_6\text{C}_{60}(\text{П2ВП})_6$ (4), $(\text{ПС})_6\text{C}_{60}(\text{П2ВП-b-ПТБМА})_6$ (5), R_m – характерный радиус звезды.



Особенности структуры перфторированных протонопроводящих мембран типа Nafion

Ю.В. Кульвелис¹, В.Т. Лебедев¹, В.А. Трунов¹, С.С. Иванчев², О.Н. Примаченко²,
С.Я. Хайкин², Д. Торок³

¹ *Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия*

² *Санкт-Петербургский филиал института катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, Санкт-Петербург, Россия*

³ *Институт физики твердого тела и оптики, Будапешт, Венгрия*

Методом малоуглового рассеяния нейтронов анализируются особенности тонкой структуры трех образцов перфторированных протонопроводящих мембран типа Nafion® – Nafion-115, его российского аналога МФ-4СК, синтезированных традиционным растворным методом, и образца ПФМ-Э, полученного по новой водно-эмульсионной технологии. Каждый образец был исследован в трех состояниях – воздушно-сухом, насыщенном легкой водой, либо тяжелой водой. При насыщении вода заполняет нанопоры в образцах, создавая условия для протонной проводимости, что позволяет использовать образцы типа Nafion® в мембранах водородных топливных элементов [1].

Обнаружены различия в регулярности общих элементов тонкой структуры изученных мембран – цилиндрических каналов диаметром 20-25 Å. Наиболее упорядоченной структурой обладает Nafion-115, у которого каналы являются прямыми и сохраняют корреляции в расположении на расстояниях до 200 Å. Материал МФ-4СК напоминает по строению Nafion-115 с менее выраженным порядком в расположении каналов. В образце ПФМ-Э, в отличие от Nafion-115 и МФ-4СК каналы имеют изогнутый и разветвленный характер, в результате чего порядок в их упаковке проявлен лишь на масштабе до 40-50 Å, а на больших расстояниях пространственные корреляции в расположении каналов исчезают. С точки зрения функциональных характеристик мембран, разветвленное строение каналов должно способствовать повышению водосодержания и улучшению протонной проводимости мембраны. Это важно для эксплуатационных характеристик мембран в топливных элементах.

[1] Ю.В. Кульвелис, В.Т. Лебедев, В.А. Трунов и др., Мембраны и мембранные технологии. 2, 1 (2012).

Особенности мезоструктуры аморфных ксерогелей оксо- и гидроксосоединений металлов (Fe, Zr, Cr, Y, In), синтезированных в мощном ультразвуковом поле

Г.П. Копица¹, В.К. Иванов², А.Е. Баранчиков², О.С. Иванова²,
Н.Н. Губанова¹, Klaus Pranzas P.³, L. Almasy⁴

¹ Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия

² Институт общей и неорганической химии РАН, Москва, Россия

³ Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Geesthacht, Germany

⁴ Research Institute for Solid State Physics and Optics, Budapest, Hungary

Один из наиболее перспективных подходов к направленному синтезу неорганических материалов в высокодисперсном состоянии основан на использовании мощного ультразвукового (УЗ) воздействия. Вместе с тем, характер влияния УЗ обработки на гетерогенные системы, содержащие субмикронные частицы (в том числе, на золи и аморфные гели), остается к настоящему времени малоизученным.

Целью настоящей работы являлось изучение влияния мощной УЗ обработки на мезоструктуру аморфных гелей оксо- и гидроксосоединений металлов (Fe, Zr, Cr, Y, In), осаждаемых из растворов солей соответствующих металлов различной концентрации. В качестве основного метода анализа мезоструктуры аморфных ксерогелей использовали метод малоуглового рассеяния нейтронов (МУРН). Измерения МУРН были проведены в диапазоне переданных импульсов $2.6 \cdot 10^{-3} < q < 0.37 \text{ \AA}^{-1}$.

В отличие от общепринятых представлений о том, что УЗ воздействие не вызывает значительных изменений структуры аморфных гелей, состоящих из наноразмерных частиц, анализ данных МУРН позволил выявить существенное влияние УЗ на мезоструктуру данных аморфных ксерогелей: гомогенность, фрактальную размерность, а также на размеры агрегатов и образующих их мономерных частиц [1-3].

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и образования Российской Федерации (проект 14.740.11.0281) и Программы фундаментальных исследований Президиума РАН №24 «Фундаментальные основы технологии наноструктур и наноматериалов».

[1] V.K. Ivanov, G.P. Kopitsa, F.Yu. Sharikov et al., Phys. Rev. B 81 (2010), p. 174201.

[2] Г.П. Копица, А.Е. Баранчиков, В.К. Иванов и др., Тезисы докладов VIII Национальной конференции РСНЭ-НБИК-2011, НИЦ «Курчатовский институт», 14–18 ноября 2011 г., Москва, с. 248.

[3] G.P. Kopitsa, A.E. Baranchikov, O.S. Ivanova et al., Journal of Physics: Conference Series 340 (2012) 012057.

Анализ квазиупругого рассеяния нейтронов концентрированной водной дисперсией наноалмазов

Н.М. Благовещенский¹, А.Г. Новиков¹, Н.Н. Рожкова²

¹ГНЦ РФ – Физико-энергетический институт им. А.И. Лейпунского, Обнинск, Россия

²Институт геологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск, Россия

Ранее нами было показано [1], что диффузионные свойства воды вблизи поверхности растворенных в воде ультрадисперсных наноалмазов с концентрацией ~ 80 mg/l и средним размером УНЧ ~ 8 nm заметно меняются. Так, коэффициент самодиффузии по сравнению с объемной водой уменьшается в 1.5 раза; среднее время оседлой жизни возрастает в 4 раза; существенным образом уменьшается и вращательная подвижность молекул. Оцененная нами относительная доля молекул гидратационной воды составила ~ 3 % (2–3 молекулярных слоя).

Однако, весьма малое значение этой величины, полученное к тому же еще и с использованием модельных представлений, оставляло некоторую неудовлетворенность и порождала сомнения в достоверности такого результата. В связи с этим мы предприняли попытку оценить долю гидратационной воды методом непосредственного вычитания спектров квазиупругого рассеяния нейтронов на дисперсионной и объемной воде. Относительная нормировка этих спектров проводилась по крыльям динамического структурного фактора, где эффектами рассеяния на гидратационной воде можно было пренебречь вследствие существенно более узкого квазиупругого пика, ей соответствующего. Полученная таким образом относительная доля гидратационной воды составила $\sim (3 \pm 0.3)$ %, что близко к соответствующей оценке, приводимой нами ранее [1].

Наряду с этим в дополнение к выполненному ранее анализу методом “stretched exponent”, разработанном на базе теории “релаксирующего ящика” [2], была оценена Q - зависимость среднего времени медленной релаксации (α - релаксации, связанной с распадом ближайшего окружения), которое оказалось в ~ 4 раза больше, чем для объемной воды, что соответствует времени α - релаксации объемной воды, переохлажденной до $\sim -20^\circ\text{C}$. Все это еще раз подтверждает, что молекулярная подвижность гидратационной воды по сравнению с объемной водой заметно подавлена. Можно предполагать, что в наибольшей степени этот вывод относится к первому, непосредственно примыкающему к УНЧ, молекулярному слою воды.

Эксперимент был выполнен на спектрометре неупругого рассеяния ДИН – 2ПИ (реактор ИБР – 2, Лаборатория нейтронной физики им И.М.Франка, ОИЯИ, Дубна), при начальной энергии нейтронов 3 мэВ и разрешении в упругом пике ~ 140 мкэВ. Температура образцов поддерживалась на уровне $\sim 12^\circ\text{C}$.

Неоднородность структуры детонационного наноалмаза по данным малоуглового рассеяния нейтронов

М.В. Авдеев¹, В.Л. Аксенов^{2, 1}, А.В. Томчук^{1, 3}, Л.А. Булавин³, В.М. Гарамус⁴, Е. Осава⁵

¹ Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

² НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия

³ Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко, Киев, Украина

⁴ Гельмгольц-Центр Геестхахт, Геестхахт, Германия

⁵ Исследовательский институт нанотехнологий, Исследовательский центр Асама, Университет Шиниу, Уэда, Нагано, Япония

На основе данных малоуглового рассеяния нейтронов (МУРН) предложен непрерывный пространственный переход для состояния углерода в детонационном наноалмазе (ДНА), размер ~ 7 нм, от кристаллического алмаза внутри частицы (sp^3 -состояние) к графитоподобному состоянию на поверхности ДНА (sp^2 -состояние). Вариация контраста МУРН на концентрированных (5 вес. %) дисперсиях ДНА в жидкостях (вода, диметилсульфоксид) обнаруживает сдвиг в средней плотности длины рассеяния (ПДР) детонационного наноалмаза в сравнение с чистым алмазом, что указывает на присутствие в структуре ДНА неалмазной компоненты. В то же время, наблюдается отклонение от закона Порода, указывающее на диффузные свойства приповерхностного слоя ДНА. Совмещение двух экспериментальных фактов с учетом полидисперсности частиц ДНА приводит к выводу о существовании непрерывного профиля ПДР по всему объему наночастицы, описываемого сравнительно простой степенной зависимостью. Данный профиль естественным образом отвечает более высокой концентрации неалмазных состояний в приповерхностном слое наночастицы, но, тем не менее, четко отражает тот факт, что не существует резкой пространственной границы между двумя состояниями углерода в ДНА. Обнаруженный переход согласуется с независимыми данными компьютерных квантомеханических расчетов нанокристаллов алмаза (размер до 3.3 нм), которые показывают, что наиболее стабильные структуры требуют существования промежуточных связей sp^{2+x} по всему объему кристаллита [1, 2].

[1] Barnard A.S. and Sternberg, M. J. Mater. Chem., 17, 2007, 4811–4819.

[2] Barnard, A. S., Russo, S. P. and Snook, I. K. Diamond Relat. Mater., 12, 2004, 1867.

**Рост температуры магнитного упорядочения в объёмных кристаллах MnSi
с химически индуцированным отрицательным давлением**

Н.М. Потапова¹, В.А. Дядькин¹, Е.В. Москвин^{1,4}, Х. Экерлебе²,
Д. Мензель³, С.В. Григорьев^{1,4}

¹ *Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия*

² *Центр Гельмгольц Гестхахт, Гестхахт, Германия*

³ *Технический Институт Браунишвейга, Браунишвейг, Германия*

⁴ *Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия*

Соединения MnSi (легированные менее чем на 1 % Ge) были синтезированы методом Чохральского. Рентгеновская порошковая дифракция показала, что образцы имеют кубическую нецентросимметричную структуру B20, присущие чистому MnSi и не имеют примесных фаз. Постоянная решетки легированных кристаллов MnSi $a = 4,575(1)$ Å что немного больше, чем в идеальном кристалле MnSi $a = 4.558(1)$ Å. Расширение элементарной ячейки кристалла при легировании ассоциируется с химически индуцированным отрицательным давлением. Следует отметить, что положительное давление, оказываемое на образец MnSi (с сокращением постоянной решётки a на 0.3%), приводит к уменьшению температуры магнитного упорядочения на 20 К.

При низких температурах образцы имеют спиральную спиновую структуру с волновым вектором $k = 0,385$ нм⁻¹ (в идеальном MnSi $k = 0,345$ нм⁻¹). Экспериментально показано, что в легированных образцах температура упорядочения равна $T_C = 39$ К, т.е. выше, чем у чистого MnSi на 10 К, а критическое поле H_{C2} увеличилось примерно на 25%. Вблизи критической температуры наблюдается А-фаза (двумерная гексагональная спиновая сверхструктура) для ZFC режима измерений (охлаждение в нулевом поле). Температурный диапазон А-фазы, для легированных соединений, лежит в области от $T_A = 27,5$ К (что является характерным для чистого MnSi) до $T_C = 39$ К.

Как известно, критическое поле H_{C2} и волнового вектора k связаны с основными взаимодействиями магнитной системы, такими как жесткость спиновых волн $A = g\mu_B H_{C2}/k^2$ и постоянная Дзялошинского-Мория $SD = Ak$. Расчёт энергии основного взаимодействия A/a^2 и для легированных образцов и для идеального образца MnSi равен 50 мэВÅ², в то время как SD/a на 10% больше для легированных соединений. Поскольку параметр решетки меняется не значительно, а константа Дзялошинского-Мория зависит только от структуры B20, то можно сделать вывод, что изменения магнитных свойств связаны со средним значением спина. Следовательно, отрицательное давление приводит к увеличению среднего значения спина образца, который непосредственно влияет на критическую температуру и критическое поле H_{C2} .

Стоит отметить, что магнитные свойства соединения MnSi легированного Ge схожи со свойствами, обнаруженными в тонких пленках MnSi на подложке Si [1].

Работа выполнена в рамках государственных контрактов No.02.740.11.0874 и 07.514.12.4003.

[1] E.A. Karhu, S. Kahwaji, M.D. Robertson, H. Fritzsche, B.J. Kirby, C.F. Majkrzak, and T.L. Monchesky, Phys. Rev. B 84, 060404(R) (2011).

Наномасштабная гетерофазность и диффузное рассеяние в монокристаллах цирконата-титаната свинца в области морфотропной фазовой границы

Ю.А. Бронвальд, Р.Г. Бурковский, А.В. Филимонов, С.Б. Вахрушев,
Д.Ю. Чернышов, А.А. Босак, Z.-G. Ye

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, Санкт-Петербург, Россия

Проведено исследование диффузного рассеяния (ДР) синхротронного излучения в монокристалле цирконата-титаната свинца $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.525}\text{Ti}_{0.475})\text{O}_3$ в широком диапазоне температур. Образец ЦТС был предоставлен Университетом Саймона Фрейзера (г. Ванкувер, Канада). Измерения проводились на оборудовании Швейцарско-Норвежских линий и линии ID28 Европейского синхротронного источника ESRF (г. Гренобль, Франция). Обнаружено, что в ЦТС указанного состава при охлаждении ниже морфотропной фазовой границы (примерно 400 К) возникает сильное анизотропное ДР. Выше данной температуры, включая область перехода из кубической в тетрагональную фазу, выраженного ДР не наблюдается.

Визуально ДР в ЦТС сильно похоже на ДР в релаксорах. Однако подробный анализ обнаруживает принципиальные отличия в топологии. Как и в релаксорах, ДР является (квази)упругим, а характерные направления, вдоль которых рассеяние наиболее интенсивно – это совокупность стержней $\{110\}$. Однако, в отличие от релаксоров, в ЦТС поперечная компонента рассеяния в узлах $(0\ 0\ L)$ отсутствует, что подтверждается результатами эксперимента по неупругому рассеянию СИ. Отсутствие поперечной компоненты рассеяния противоречит концепции о том, что наблюдаемое на эксперименте ДР может быть преобразованием Фурье соответствующей функции формы, как это неоднократно предполагалось для релаксоров. Мы показываем, что основные особенности экспериментально наблюдаемого ДР могут быть воспроизведены при помощи модели неоднородных упругих деформаций решетки (Хуанговское рассеяние), вызванных дефектами тетрагональной симметрии. Согласие реализуется в:

1. Форме линии ДР, которая, согласно нашим измерениям описывается законом $1/q^2$.
2. Анизотропии формы рассеяния в узлах различной симметрии.
3. Отсутствию поперечного рассеяния в зонах $(0\ 0\ L)$.

На основании полученных результатов и результатов предыдущих исследований, мы предполагаем, что ДР в ЦТС ниже морфотропной фазовой границы – следствие наличия неоднородных упругих микродеформаций решетки, возникающих в результате появления вкраплений тетрагональной фазы в матрицу иной симметрии - ромбоэдрическую или моноклинную. Таким образом, данное исследование подтверждает предположение о структурной неоднородности цирконата-титаната свинца состава близкого к морфотропной фазовой границе и указывает на наиболее вероятный механизм реализации такой неоднородности.

Условия образования и структура нового водородного гидрата

М.А. Кузовников

Институт физики твердого тела РАН, Черноголовка, Россия

В системе $\text{H}_2\text{O}-\text{H}_2$ при -20°C и давлении водорода 5кбар открыт новый водородный гидрат, названный C0. Порошковые образцы гидрата были закалены под высоким давлением до температуры жидкого азота. Термодесорбция в вакуум показала, что выделение водорода из закалённых образцов начинается при нагреве выше 77 К и заканчивается при 170 К. Общее количество выделившегося водорода достигало молекулярного отношения $\text{H}_2/\text{H}_2\text{O} \approx 0.13$. Рентген-дифракционное исследование при 80 К показало, что образцы были однофазными и имели тригональную структуру с $a=6.33\text{\AA}$ и $c=6.20\text{\AA}$ в гексагональных осях.

Наблюдение эффекта аномального поглощения нейтронов, дифрагирующих по Лауэ, при углах Брэгга, близких к $\pi/2$

Е.О. Вежлев, В.В. Воронин, И.А. Кузнецов, С.Ю. Семенихин, В.В. Федоров

Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия

В рамках подготовки эксперимента по проверке эквивалентности гравитационной и инертной масс нейтрона кристалл-дифракционным методом [1,2] было проведено детальное исследование дифракции нейтрона по Лауэ при углах Брэгга близких к $\pi/2$ в толстом (220 мм) высокосовершенном монокристалле кремния [3].

При дифракции по Лауэ для углов Брэгга близких к $\pi/2$ существенную роль начинает играть эффект, обусловленный различным поглощением нейтронных волн в кристалле, отвечающих разным ветвям дисперсионной поверхности и имеющим соответственно разные симметрии (эффект Бормана), см., например, [4]. Он наблюдался впервые Г. Борманом [5] для рентгеновских лучей, как эффект аномального прохождения лучей через толстый кристалл в условиях дифракции.

Наличие эффекта аномального поглощения (т.е. существенно более слабого поглощения одной из нейтронных волн) дает возможность проводить эксперименты при больших толщинах рабочих кристаллов (>200 мм) и больших углах дифракции вплоть до 88° . Это позволит значительно увеличить чувствительность кристалл-дифракционного метода к малым воздействиям на нейтрон и, в частности, позволит достичь точности в определении эквивалентности инертной и гравитационной масс нейтрона на уровне $\sim 10^{-5}$, что почти на порядок превосходит современное ограничение на данную величину [6].

- [1] В.В. Воронин, И.А. Кузнецов, Е.Г. Лапин, С.Ю. Семенихин, В.В. Федоров, ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА, 72(2), 1 (2009).
- [2] V.V. Voronin, V.V. Fedorov, I.A. Kuznetsov, E.G. Lapin, S.Yu. Semenikhin, Yu.P. Braginetz, E.O. Vezhlev, Physics Procedia, 17, 232 (2011).
- [3] Е.О. Вежлев, В.В. Воронин, И.А. Кузнецов, С.Ю. Семенихин, В.В. Федоров, Письма в ЖЭТФ, 96(1), 3 (2012).
- [4] H. Rauch and D. Petráček, In Neutron diffraction ed. by H. Dachs, Berlin:Springer, 1978, pp. 303-351.
- [5] G. Borrmann, Z.Physik, 42, 157 (1941).
- [6] J. Schmiedmayer, Nucl. Instr. Meth. A, 284, 59 (1989).

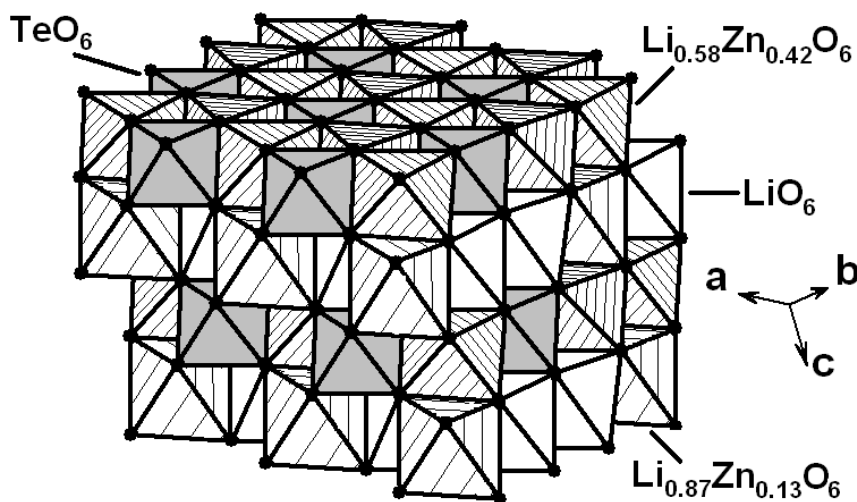
Кристаллическая структура $\text{Li}_4\text{ZnTeO}_6$ и обзор семейства A_4MXO_6

В.Б. Налбандян¹, М.Ю. Авдеев², М.А. Евстигнеева¹

¹Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

²Bragg Institute, ANSTO, Kirrawee DC NSW, Australia

Твердофазным синтезом получена и порошковой рентгеновской дифракцией охарактеризована серия новых сложных оксидов с общей формулой A_4MXO_6 , где $\text{A} = \text{Li}, \text{Na}$; $\text{M}^{2+} = \text{Co}, \text{Ni}, \text{Zn}$ ($\text{M} = \text{Te}$); $\text{M}^{3+} = \text{Fe}$ ($\text{X} = \text{Sb}$), представляющих четыре разных варианта упорядочения в структуре каменной соли с пространственными группами C2/m , P3_112 , Fddd и P2/a . В данной работе рассматривается структура $\text{Na}_4\text{ZnTeO}_6$. Она моноклинная, C2/m , $a=5.215(3)$, $b=8.932(2)$, $c=5.179(3)$ Å, $\beta=110.81(3)$. Структура определена по порошковым нейтронографическим данным, полученным на дифрактометре Echidna ANSTO ($\lambda=1.62$ Å). Она родственна ранее известным структурам $\text{Li}_3\text{M}_2\text{SbO}_6$ ($\text{M} = \text{Zn}, \text{Ni}$), которые, в свою очередь, представляют собой сверхструктуры слоистого типа $\alpha\text{-NaFeO}_2$ (LiCoO_2) с упорядочением M и Sb в позициях железа по типу пчелиных сот. Отличия от $\text{Li}_3\text{M}_2\text{SbO}_6$ состоят в том, что позиции M заселены статистически цинком и литием, и небольшая доля цинка обнаружена также в одной из двух неэквивалентных позиций литиевого слоя (см. рисунок). Все катионы находятся в октаэдрическом окружении, октаэдры обобществляют все рёбра, как и в структуре каменной соли, но октаэдры TeO_6 обособлены друг от друга.



В докладе обсуждаются факторы, ответственные за стабилизацию того или иного из четырёх типов сверхструктур A_4MXO_6 и $\text{A}_3\text{M}_2\text{SbO}_6$. Отмечено, что в некоторых системах структуры Fddd и C2/m очень близки по энергии, и образование того или иного типа зависит от трудно контролируемых факторов. Фазы этих семейств с неполновалентными катионами d -элементов ($\text{M} = \text{Fe}^{3+}, \text{Co}^{2+}, \text{Ni}^{3+}$) интересны магнитными свойствами и возможностью работы в качестве электродных материалов литий- или натрий-ионных аккумуляторов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 11-03-01101-а) и ICDD (грант 00-15).

Нейтроннографическое и рентгенографическое исследование монокристалла $Y_{0.715}Ca_{0.285}F_{2.715}$

Н.Б. Болотина¹, А.И. Калюканов^{1,2}, Т.С. Черная¹, И.А. Верин¹,
И.И. Бучинская¹, Л.Е. Фыкин², Б.П. Соболев¹

¹ Институт кристаллографии им. А.В. Шубникова РАН, Москва, Россия

² Филиал ФГУП «НИФХИ им. Л.Я. Карпова», Обнинск, Россия

Нестехиометрические фазы $R_{1-y}M_yF_{3-y}$ (M – щелочноземельные элементы; R – редкоземельные элементы) являются основными продуктами высокотемпературных взаимодействий в системах $MF_2 - RF_3$. Термическая стабилизация структуры тисонита (тип LaF_3) изоморфными замещениями R^{3+} на M^{2+} проявляется в образовании тисонитовых фаз в системах с теми RF_3 , которые не имеют тисонитовых модификаций ($R^{3+} = Tb - Lu, Y$).

Структурные дефекты и суперионная проводимость тисонитов тесно взаимосвязаны. Однако данные о дефектном строении кристаллов $R_{1-y}M_yF_{3-y}$ весьма скупы и неоднозначны и их недостаточно для решения принципиального вопроса о механизме ионного транспорта в кристаллах этого семейства.

Образование анионных вакансий, как результат замещения R^{3+} на M^{2+} , оказывает решающее влияние на симметрию тисонитовой структуры и на объем элементарной ячейки. Например, объемы ячеек ранее изученных тисонитовых фаз $Gd_{0.8}Ca_{0.2}F_{2.8}$ (пр. гр. $P6_3/mmc$, $z = 2$) [1] и $La_{0.96}Ba_{0.04}F_{2.96}$ (пр. гр. $P \bar{3}c1$, $z = 6$) [2] различаются в три раза.

Работа открывает серию исследований нестехиометрических фаз $R_{1-y}M_yF_{3-y}$ с дефектной структурой типа тисонита (LaF_3) с целью выявления закономерностей в зависимости строения и свойств кристаллов от состава и термической обработки.

Для исследования выбран монокристалл $Y_{0.715}Ca_{0.285}F_{2.715}$. Состав находится на границе предполагаемой концентрационной смены неупорядоченной тисонитовой фазы на упорядоченную (с производной структурой) фазу при росте содержания CaF_2 .

Рентгенографическое исследование проводилось на дифрактометре Xcalibur S, $MoK\alpha$ $\lambda = 0.71069$ Å в ИК РАН им. А.В.Шубникова. Нейтроннографическое исследование выполнено на реакторе ВВР-ц (филиал НИФХИ им. Л.Я.Карпова), $\lambda = 1.167$ Å, Cu - монохроматор, $\theta/2\theta$ - сканирование.

Структура уточнена в пр. гр. $P6_3/mmc$, $a = 3.9095(2)$, $c = 6.9829(2)$, $z = 2$ [3]. Все атомы, за исключением Ca, локализуются вблизи осей симметрии и распределяются по равнозаселенным подпозициям. Атомы Ca локализованы на осях симметрии, в центрах треугольников из подпозиций, заселенных атомами Y. Обсуждается роль атомов Ca в стабилизации гексагональной фазы. Слабые по интенсивности сателлиты наблюдались в малом количестве, недостаточном для их использования в структурных расчетах. Тем не менее, они, скорее всего, свидетельствуют о подготовке к сверхструктурному упорядочению.

Работа выполнена при поддержке гранта ведущих научных школ НШ-2883.2012.5 и ГК 16.518.11.7108 с Минобрнауки.

[1] Отрощенко Л.П., Александров Б.П., Максимов Б.А., и др. // Кристаллография. 1985. Т. 30. С. 658.

[2] Дудка А.П., Лошманов А.А., Соболев Б.П. // Кристаллография. 1998. Т. 43. С. 605.

[3] Болотина Н. Б., Калюканов А. И., Черная Т. С. и др. // Кристаллография (в печати).

Метастабильные магнитные состояния стекольного типа и ближний магнитный порядок в редкоземельных интерметаллидах R_5Pd_2

А.Ф. Губкин¹, Е.А. Шерстобитова¹, П.Б. Терентьев¹, Андреас Хоссер², Н.В. Баранов^{1,3}

¹ Институт физики металлов УрО РАН, Екатеринбург, Россия.

² Helmholtz Zentrum Berlin, Berlin, Germany

³ Уральский федеральный университет им. Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

Бинарные редкоземельные интерметаллиды R_5Pd_2 кристаллизуются в кубическую структуру (пространственная группа $Fd3m$), обладающую беспорядком в упорядочении атомов редкой земли и палладия в позиции 32e [1]. Согласно данным работ [2,3] соединения R_5Pd_2 ($R=Tb, Ho$) обладают сложной некомпланарной антиферромагнитной структурой при температурах ниже T_N . Более того, соединение Ho_5Pd_2 демонстрирует гигантский магнитокалорический эффект с одним из самых больших параметров относительной охлаждающей мощности среди материалов, обладающих высоким потенциалом использования в магнитокриогенной технике [3]. В данной работе для исследования магнитных свойств соединений R_5Pd_2 ($R=Tb, Ho$) были проведены магнитные измерения на поликристаллических образцах, а также эксперименты по упругому рассеянию нейтронов на порошковых образцах в широком интервале магнитных полей и температур.

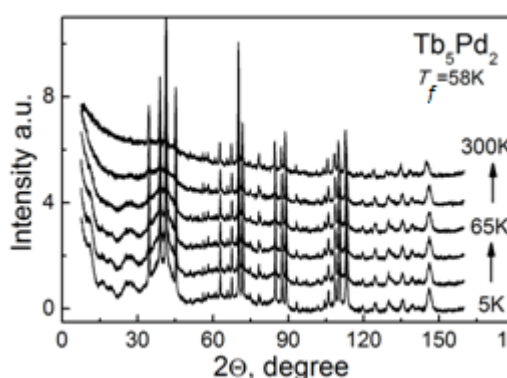


Рисунок: Нейтронограммы порошкового образца Tb_5Pd_2 , снятые в широком интервале температур 5–300 К.

Нейтронографические эксперименты показали, что соединения Ho_5Pd_2 и Tb_5Pd_2 не обладают дальним магнитным порядком во всем интервале температур 4К–300К. Однако при охлаждении до температур близких к критической T_f на нейтронограммах в области малых углов появляются широкие диффузные максимумы магнитной природы. В эксперименте по термоциклированию на охлажденном в нулевом магнитном поле образце было установлено, что магнитное состояние является метастабильным при температурах ниже T_f . Измерения высокотемпературной DC-восприимчивости показали, что экспериментальная кривая отклоняется от закона

Кюри-Вейса вплоть до температур порядка $\sim 5T_f$, что может быть объяснено сохранением корреляций ближнего магнитного порядка в образце. Измерения AC-восприимчивости при различных частотах управляющего поля выявили сдвиг максимума на кривых мнимой и реальной компонент AC-восприимчивости при T_f в сторону более высоких температур при увеличении частоты осциллирующего поля.

Таким образом, полученные результаты позволяют предположить, что соединения R_5Pd_2 ($R=Tb, Ho$) при температурах ниже T_f демонстрируют метастабильное неэргодичное магнитное состояние типа кластерного стекла, вследствие конкуренции ФМ и АФМ обменных взаимодействий. Корреляции ближнего магнитного порядка сохраняются в соединениях R_5Pd_2 вплоть до температур порядка $\sim 5T_f$.

Работа поддержана РФФИ (грант № 12-02-31137 мол_а).

[1] M.L. Fornasini, A. Palenzon, J. Less-Common Metals, 38, 77-82 (1974).

[2] M. Klimczak, E. Talik, A. Winiarski, R. Troc, J. All. Com., 423 62–65 (2006).

[3] T. Samanta, I. Das, S. Banerjee, *Applied Physics Letters*, 91 (2007) 082511.

Исследование структурных изменений в мультиферроике BiMnO_3 при высоком давлении

С.Г. Джабаров^{1,2}, Д.П. Козленко¹, С.Е. Кичанов¹, Е.В. Лукин¹,
Б.Н. Савенко¹, А.И. Мамедов² и К. Лате³

¹ Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

² Институт физики НАН Азербайджана, Баку, Азербайджан

³ Helmholtz Centre Potsdam, Potsdam, Germany

Исследования магнитных оксидов - мультиферроиков является одной из наиболее актуальных проблем современной физики конденсированного состояния. Это связано с широкими перспективами создания новых уникальных материалов для различных технологических применений, в которых магнитными свойствами можно управлять электрическим полем, и наоборот, и в настоящее время ведутся широкомасштабные исследования известных материалов и поиск новых материалов-мультиферроиков.

Среди трехмерных оксидов – мультиферроиков BiMnO_3 является одним из наиболее интенсивно изучаемых соединений. Ниже температуры $T=500$ К, он обладает искаженной перовскитоподобной моноклинной структурой с пространственной группой $C2/c$, проявляющей сегнетоэлектрические свойства. При температуре Кюри $T_C = 100$ К в BiMnO_3 наблюдается появление ферромагнитного упорядочения. Недавние работы по измерению магнитной восприимчивости при высоких давлениях указывают на то, что ферромагнитная фаза в BiMnO_3 нестабильна, и полностью подавляется при давлениях $P > 1$ ГПа, с возникновением новой магнитной фазы с критической температурой $T_{C1} = 90$ К.

В нашей работе исследовалась кристаллическая структура манганита висмута BiMnO_3 методом энергодисперсионной рентгеновской дифракции при давлениях $0 - 4$ ГПа и в диапазоне температур $300 - 950$ К. При температуре $T_C = 700$ К наблюдается структурный фазовый переход из моноклинной сегнетоэлектрической в орторомбическую параэлектрическую фазу. При приложении давления наблюдается значительное уменьшение температуры фазового перехода с барическим коэффициентом $dT_C/dP = -10(3)$ К/ГПа.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №12-02-00794-а и госконтрактов № 02.740.11.0542 и №16.518.11.7029, Федеральных целевых программ «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2012 годы» и «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 годы».

Сессия VI: Биологические системы

Наноструктура и свойства модельных мембран верхнего слоя кожи *stratum corneum*. Исследования на нейтронных и синхротронных источниках

М.А. Киселев

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

Stratum corneum (SC) является верхним слоем кожи и её главным барьером. Диффузия вещества через SC идет по липидной матрице, главными компонентами которой являются церамиды. Роль церамидов в формировании наноструктуры липидной матрицы SC и её диффузионных свойств является предметом активных исследований фармацевтов, создающих трансдермальные переносчики лекарств. Модельные мембраны SC являются наиболее подходящим объектом для таких исследований. В докладе представлены результаты нейтронных и синхротронных исследований выполненных на модельных мембранах SC и, созданная на их основе, модель арматурного укрепления липидной матрицы SC молекулами церамида 6. Обсуждаются фармацевтические выводы модели арматурного укрепления по увеличению проницаемости кожи для лекарств [1-4].

- [1] M.A. Kiselev, N.Yu. Ryabova, A.M. Balagurov, et al. New insights into structure and hydration of stratum corneum lipid model membrane by neutron diffraction. *European Biophys. J.* 34 (2005) 1030–1040.
- [2] М.А. Киселев. Конформация молекул церамида 6 и chain-flip переходы в липидной матрице верхнего слоя кожи - Stratum Corneum. *Кристаллография* 52 (2007) 549-553.
- [3] A. Schroeter, D. Kessner, M.A. Kiselev, et al., Basic nanostructure of CER[EOS]/ CER[AP]/ CHOL/ FFA multilamellar membranes. A neutron diffraction study. *Biophysical J.* 97 (2009) 1104-1114.
- [4] М.А. Киселев. Методы исследования липидных наноструктур на нейтронных и синхротронных источниках. *ЭЧАЯ*, 42 (2011) 578-635.

Применение малоуглового рассеяния нейтронов к исследованию структуры хроматина

А.В. Илатовский^{1,2}, Д.В. Лебедев¹, М.В. Филатов¹, М.Г. Петухов^{1,2}, В.В. Исаев-Иванов¹

¹ *Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия*

² *Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, Санкт-Петербург, Россия*

Ядерная ДНК в геномах эукариот представляет собой нуклеопротеиновый комплекс — хроматин [1]. Для компактного хранения генетической информации и обеспечения доступа к ней требуется его определённая организация. В середине 1970-х гг. был открыт структурный элемент хроматина — нуклеосома, в 1997 г. была получена её полноатомная структура. Наблюдаемые при помощи электронной микроскопии нити хроматина диаметром 30 нм считаются следующим уровнем компактизации ДНК, однако их детальная организация до сих пор неизвестна. Определённый прогресс достигнут в исследовании структуры хроматина в масштабе целого ядра — установлена двухуровневая фрактальная организация хроматина.

В нашей лаборатории получены данные о малоугловом рассеянии нейтронов (МУРН) на различных клеточных ядрах [2, 3]. Графики экспериментальных спектров МУРН имеют линейные участки в двойном логарифмическом масштабе для широкого интервала значений вектора рассеяния, что указывает на фрактальную организацию хроматина. МУРН обладает рядом преимуществ перед другими экспериментальными методами исследования структуры хроматина, в частности, он позволяет получить интегральные характеристики хроматина в широком интервале размеров.

Спектры МУРН можно использовать для создания единой молекулярной модели структурной организации хроматина, охватывающей все уровни компактизации ДНК, от нуклеосомного до геномного. Общим недостатком существующих методов расчёта спектров МУРН является их неприменимость для систем большого размера, таких как сложные биомакромолекулярные комплексы, состоящие из миллионов атомов. В данной работе были разработаны методы построения молекулярных (в т. ч. фрактальных) моделей наднуклеосомной структуры хроматина геномного размера и соответствующие методы расчёта спектров МУРН [4, 5]. Для ряда моделей показано удовлетворительное согласие с экспериментальными данными.

[1] А.В. Илатовский, Д.В. Лебедев, М.В. Филатов и др. Цитология **54**, 298 (2012).

[2] D.V. Lebedev, M.V. Filatov, A.I. Kuklin et al. FEBS Lett. **579**, 1465 (2005).

[3] В.В. Исаев-Иванов, Д. В. Лебедев, Х. Лаутер и др. ФТТ **52**, 996 (2010).

[4] A.V. Ilatovskiy, D.V. Lebedev, M.V. Filatov et al. J. Appl. Phys. **110**, 102217 (2011).

[5] A.V. Ilatovskiy, D.V. Lebedev, M.V. Filatov et al. J. Phys. Conf. Ser. **351**, 012007 (2012).

Структура амилоидных протофиламентов лизоцима по данным малоуглового рассеяния нейтронов и рентгеновских лучей

В.И. Петренко^{1,2}, М.В. Авдеев¹, L. Almasy^{3,4}, М. Timko⁵, V.M. Garamus⁶, Л.А. Булавин²,
В.Л. Аксенов^{7,1}, Р. Корцанский⁵

¹ Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

² Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко, Киев, Украина

³ Paul Scherrer Institut, Villigen, Switzerland

⁴ Research Institute for Solid State Physics and Optics, Budapest, Hungary

⁵ Institute of Experimental Physics SAS, Kosice, Slovakia

⁶ Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Geesthacht, Germany

⁷ НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия

Амилоиды (фибриллярные белковые агрегаты) рассматриваются сегодня как первопричина ряда нейродегенеративных заболеваний, таких как болезнь Альцгеймера, Паркинсона, атеросклероз и др. В большинстве случаев амилоиды представляют собой вытянутые спиралевидные объекты, состоящие из скрученных между собой нескольких первичных филаментов (протофиламентов) и достигающие микронной длины. Сами протофиламенты также имеют спиральную структуру, параметры которой определяются свойствами раствора, где инициируется рост амилоидов.

В настоящей работе рассмотрены возможности определения параметром спиральной структуры протофиламентов в амилоидных растворах лизоцима (из белка куриного яйца) посредством малоуглового рассеяния нейтронов (МУРН) и рентгеновских лучей (МУРР). Размеры поперечного сечения данных образований лежат в нанометровом диапазоне (порядка 10 нм), что обуславливает применение указанных методов для количественной характеристики амилоидов. Показано, что среди простых приближений наиболее адекватно структура протофиламентов описывается в рамках модели «спираль из однородных сферических частиц», предложенной ранее для спиралевидной агрегации белка RecA [1]. Как результат, определены период повторяемости (шаг) и средняя толщина спирали, а также эффективный радиус основных структурных единиц, составляющих спираль. Проведено сравнение с количественными данными других методов (электронная микроскопия, атомно-силовая микроскопия и др.). Проанализирован изотоп-эффект при изменении содержания тяжелой компоненты в растворителе (смеси H₂O/D₂O) в рамках процедуры вариации контраста МУРН.

[1] D.V. Lebedev, D.M. Baitin, A.Kh. Islamov, A.I. Kuklin, V.Kh. Shalguev, V.A. Lanzov, V.V. Isaev-Ivanov, FEBS Lett. 537 (2003) 182-186.

Олигомерные состояния белка Tip49a по данным малоуглового нейтронного рассеяния

Д.В. Лебедев¹, Д.Б. Червякова¹, А.П. Якимов^{2, 1}, Дж. Заккаи³, М.Г. Петухов^{2, 1},
В.В.Исаев-Иванов¹, М.А. Ходорковский², М. Григорьев⁴

¹ Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия

² Санкт-петербургский государственный политехнический университет, Санкт-Петербург, Россия

³ Институт Лауэ–Ланжевена, Гренобль, Франция

⁴ Университет Тулузы, Тулуза, Франция

Белок Tip49a, входящий в состав хроматин-ремодулирующего комплекса *ino80*, участвует в важнейших клеточных процессах, таких как ремодуляция хроматина, регуляция транскрипции и пролиферации. Согласно данным рентгеновской кристаллографии [1], мономер белка состоит из трех доменов: D1 и D3, формирующих модуль связывания и гидролиза АТФ, и ДНК-связывающего D2 домена [1, 2].

Методом малоуглового нейтронного рассеяния была исследована надмолекулярная структура олигомеров белка Tip49a дикого типа и белка, содержащего мутацию Y366A на границе D1 и D3 доменов. Было показано, что белок Tip49a олигомеризуется в растворе с образованием филаментов с поперечным радиусом гирации около 40 Å и длиной несколько десятков нанометров. Взаимодействие белка с двунитевой ДНК в присутствии негидролизующего аналога АТФ приводило к образованию длинных филаментов с поперечным радиусом гирации около 20 Å. Для белка с мутацией Y366A образование филаментов не наблюдалось, при этом как в присутствии, так и в отсутствие нуклеотидных кофакторов происходила олигомеризация белка с образованием частиц с радиусом гирации (45 - 50 Å) и молекулярной массой (210 - 230 кДа) близкими к расчетным для пентамерных кольцевых олигомеров.

[1] Matias P.M. *et al.* *J Biol Chem* 281: 38918-38929 (2006).

[2] Papin C. *et al.* *FEBS J* 277: 2705-2714 (2010).

Поляризационный анализ с помощью нейтронных спиновых фильтров для исследования структуры биологических объектов

А. Иоффе

Jülich Centre for Neutron Science, Forschungszentrum Jülich GmbH, Germany

Малоугловое рассеяние (SANS) является одним из наиболее успешных методов нейтронных исследований позволяющее получить структурную информацию в широком диапазоне переданных импульсов Q , (10^{-4} – 1) \AA^{-1} , что соответствует размерам от нескольких ангстрем до нескольких микрометров. Это особенно важно при исследованиях биологических объектов, позволяя получать структурную информацию в широком диапазоне характерных длин в одном эксперименте.

Однако, интенсивность рассеяния при больших переданных импульсах очень мала и когерентный сигнал обычно подавлен сильным некогерентным фоном от атомов водорода в биомолекуле. Т.к. этот фон является свойством самого рассеивателя, его невозможно удалить обычным вычитанием сигнала от буфера и данные для $Q > 0.3 \text{\AA}^{-1}$ в случае недейтерированных образцов являются весьма ненадежными, в то время как измерения необходимо проводить в диапазоне вплоть до 1\AA^{-1} .

В докладе обсуждаются методика и результаты SANS экспериментов с поляризационным анализом в широком Q -диапазоне используя спиновые фильтры (поляризованный ^3He), включая эффекты неупругого рассеяния на водороде образца.

Четверг, 18 октября 2012 года

Сессия VII: Слоистые структуры, тонкие пленки и поверхности

Квантование волн спиновой плотности в сверхтонких пленках хрома

Е.А. Кравцов^{1,2}, Д. Благодатков¹, Л. Паолазини³, В.В. Устинов¹

¹ *Институт физики металлов УрО РАН, Екатеринбург, Россия*

² *Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия*

³ *European Synchrotron Radiation Facility, Гренобль, Франция*

Системы на основе хрома, низкотемпературное магнитное поведение которых ассоциируется с возникновением волны спиновой плотности (ВСП), представляют собой популярную модельную систему для исследования квантовых фазовых переходов. До настоящего времени исследовались в основном объемные системы, в которых квантовые фазовые переходы реализовывались при изменении поверхности Ферми под давлением либо при допировании.

В настоящем докладе мы представляем результаты исследования ВСП в тонкопленочных системах. Прямыми методами, связанными с комбинированным использованием рассеяния нейтронов и синхротронного излучения, определена зависимость параметров волн спиновой плотности в сверхтонких пленках хрома в широком интервале температур и магнитных полей. Установлено, что в пленках толщиной 20 нм при приложении магнитного поля перпендикулярно плоскости образца наблюдаются резкие аномалии в температурной зависимости электросопротивления, величины магнитного момента, периода и поляризации волны спиновой плотности, связанные с эффектами размерного квантования волн спиновой плотности. В пленках большей либо меньшей толщины, а также при приложении магнитного поля в плоскости образца аномалий не наблюдается. Характерной особенностью системы является размерное квантование ВСП в сверхтонких пленках – период ВСП изменяется с температурой дискретно таким образом, что в пленке укладывается полуцелое число периодов ВСП.

Перспективы развития поляризационной нейтронной оптики на основе нового метода улучшения поляризующих нейтронных покрытий

Н.К. Плешанов

Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия

В ПИЯФ был предложен, теоретически обоснован и экспериментально проверен новый метод улучшения поляризующих нейтронных покрытий – было продемонстрировано флип-отношение на порядок более высокое, чем у существующих покрытий, поэтому покрытия с прослойками получили название «суперполяризующих». Развиваемые в ПИЯФ суперполяризующие покрытия не только улучшат работу и, таким образом, расширят диапазон применений поляризующих устройств, но и могут стать основой для проектирования новой нейтронной техники. Важным для дальнейшего успеха является исследование кинетики окисления и стабильности нанослоев титана, совершенствование магнитных систем для поляризующих устройств. Развитие метода связано с модернизацией существующего и закупкой нового напылительного оборудования.

Нейтронный магнитный резонанс в слоистой наноструктуре

Ю.В. Никитенко

Объединённый институт ядерных исследований, Дубна, Россия

Явление нейтронного магнитного резонанса используется для получения распространяющихся в вакууме пучков нейтронов с определёнными поляризационными характеристиками. В тонком магнитном слое вероятность процесса переворота спина нейтронов мала и это, по-видимому, сдерживало использование нейтронного магнитного резонанса для исследований наноструктур. Однако, для магнитного слоя, помещённого в резонатор нейтронной волны, вероятность переворота спина нейтрона может быть значительно увеличена. В докладе рассматриваются вопросы отражения и прохождения поляризованных нейтронов через слоистые структуры, помещённые в статическое и вращающееся магнитные поля. Приводятся результаты экспериментальных исследований отражения нейтронов от слоя из пермаллоя.

- [1] V.K. Ignatovich, Yu.V. Nikitenko, F. Radu, Experimental opportunity to investigate layered magnetic structures with help of oscillating magnetic field, NIM A604 (2009) 653-661.
- [2] V.K. Ignatovich, Yu.V. Nikitenko, F. Radu, Neutron refraction in oscillating magnetic field, NIM A 620 (2010) 410-413.
- [3] Yu.V. Nikitenko, V.K. Ignatovich, F. Radu, Interaction of neutrons with layered magnetic media in oscillating magnetic field, Physica B 406 (2011) 2473-2477.
- [4] S.V. Kozhevnikov, V.K. Ignatovich, Yu.V. Nikitenko, F. Ott, F. Radu, A. Rühm, J. Major, Neutron magnetic resonance and non-specular reflection from a magnetic film placed in an oscillating magnetic field, Journal of Physics: Conference Series. 340 (2012) 012084(1-9).
- [5] Ю.В. Никитенко, Магнитный резонатор нейтронной волны. Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2012. В печати.
- [6] С.В. Кожевников, Ф. Раду, Ю.В. Никитенко, В.Л. Аксёнов, Отражение нейтронов от магнитной плёнки, помещённой в статическое и осциллирующее магнитные поля, Journal of Surface Investigation №10, 2012.

Оценка сечения взаимодействия нейтронов со спиновыми волнами в тонких ферромагнитных пленках

И.А. Боднарчук¹, В.И. Боднарчук², С.П. Ярадайкин²

¹ *НИИЯФ имени Д.В. Скобельцына МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

² *Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия*

Неупругое рассеяние нейтронов на магнитных возбуждениях в тонких ферромагнитных пленках до сих пор не было обнаружено из-за малости сечения взаимодействия нейтронов со спиновыми волнами [1,2]. Для увеличения вероятности неупругого магнитного рассеяния предлагается использовать трехслойные структуры, в которых волновая функция нейтрона испытывает резонанс на ферромагнитном слое. В работе дается оценка сечения взаимодействия нейтронов со спиновыми волнами, и моделируются оптимальные параметры резонансных структур.

[1] M. Bailleul, F. Ott, C. Fermon. Physica B **335**, 68 (2003).

[2] V.I. Bodnarchuk, C.P. Yaradaykin. Cryst. Rep. **52**, 550 (2007).

Сессия VIII: Фундаментальные взаимодействия и свойства нейтрона

Эффект аномальной временной дисперсии при прохождении нейтронов через кристалл вблизи условия Брэгга

В.В. Воронин, Ю.В. Борисов, А.В. Иванюта, И.А. Кузнецов, С.Ю. Семенихин, В.В. Федоров

Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия

В рамках подготовки эксперимента по поиску электрического дипольного момента (ЭДМ) нейтрона кристалл-дифракционным методом проведено исследование особенностей распространения нейтрона через кристалл в направлениях близких к брэгговским.

Экспериментально обнаружен и исследован эффект аномальной временной дисперсии при прохождении нейтрона через совершенный кристалл в направлениях, близких к брэгговским. Показано, что временная дисперсия дифрагирующего нейтрона при таких условиях может на 3-4 порядка превосходить аналогичную величину для свободного нейтрона, что открывает новые возможности в прецизионной нейтронной спектроскопии.

Работа поддержана РФФИ (гранты 12-02-00446-а и 11-02-12161-офи-м).

Измерение электрического заряда нейтрона методом спиновой интерферометрии

И.А. Кузнецов

Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия

Предлагается новый эксперимент по проверке электронейтральности нейтрона. Основная идея данного эксперимента заключается в использовании техники спиновой интерферометрии. Подобная техника используется в установках типа SESANS для исследований по физике конденсированного состояния.

В этих установках происходит пространственное расщепление нейтрона на два состояния с противоположными проекциями спина на магнитное поле. После прохождения рабочей области эти два состояния снова сводятся. Таким образом, фаза интерференционной картины, т.е. направление вектора поляризации в азимутальной плоскости определяется разностью фаз двух спиновых состояний, накопленной в рабочей области. Если такую систему поместить в однородное электрическое поле E , то данные два состояния, благодаря пространственному расщеплению, будут находиться под разными потенциалами. При наличии у нейтрона электрического заряда qn это приведет к расщеплению состояний по энергии $\Delta E_e = qn E \Delta z$ и, соответственно, даст дополнительный фазовый сдвиг $\Delta \phi_e = \Delta E_e \tau / \hbar$, где Δz – величина пространственного расщепления, τ – время нахождения нейтрона в электрическом поле. То есть подобная система оказывается чувствительной к электрическому заряду нейтрона.

Предварительные оценки показывают, что использование подобной методики позволит улучшить ограничение на заряд нейтрона как минимум на порядок величины

UCU magnetic trapping and neutron lifetime measurements

V.F. Ezhov¹, B.A. Bazarov¹, P. Geltenbort², N.A. Kovrizhnykh³, A.Z. Andreev¹, G. Ban⁴,
A.G. Glushkov¹, V.A. Knyazkov¹, G.D. Krygin¹, O. Naviliat-Cuncic⁴, V.L. Ryabov¹

¹*Petersburg Nuclear Physics Institute, Gatchina, Russia*

²*Institut Laue-Langevin, Grenoble, France*

³*Research Institute of electrophysical apparatus, S-Petersburg, Russia*

⁴*Caen University, France*

The first stage of the neutron lifetime measurement using UCN magnetic storage in the trap of permanent magnets is completed. Measured value of neutron lifetime is equal to 878.2 ± 1.9 s. The further experimental perspectives are discussed.

Магнитное хранение ультрахолодных нейтронов и измерение времени жизни нейтрона

В.Ф. Ежов¹, Б.А. Базаров¹, П. Гельтенборт², Н.А. Коврижных³, А.З. Андреев¹, Ж. Бан⁴,
А.Г. Глушков¹, В.А. Князков¹, Г.Д. Крыгин¹, О. Навилья-Кунсик⁴, В.Л. Рябов¹

¹*Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия*

²*Institut Laue-Langevin, Grenoble, France*

³*Научно-исследовательский институт электрофизической аппаратуры, Россия*

⁴*Caen University, France*

Завершен первый этап эксперимента по измерению времени жизни нейтрона с использованием хранения ультрахолодных нейтронов (УХН) в магнитной ловушке, собранной из постоянных магнитов. Впервые для экспериментов, использующих магнитное хранение нейтронов, достигнута точность измерения 878.2 ± 1.9 с, которая сравнима с точностью лучших экспериментов по измерению времени жизни нейтрона. Обсуждаются дальнейшие перспективы использования магнитного хранения УХН для увеличения точности экспериментов по измерению времени жизни нейтрона.

«Правило льда» и намагниченность трехмерной ферромагнитной геометрически – фрустрированной опалоподобной структуры

А.А. Мистонов¹, Н.А. Григорьева¹, D. Menzel², А.В. Чумакова³, Н.А. Саполетова⁴,
К.С. Напольский⁴, С.В. Григорьев^{1,3}

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

² Институт физики конденсированного состояния, Брауншвайг, Германия

³ Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия

⁴ МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

В работе исследована эволюция магнитной структуры геометрически фрустрированных трёхмерных ферромагнитных метаматериалов с изменением внешнего магнитного поля. Метаматериалы были синтезированы на основе плёнок полистирольных опалоподобных матриц с ГЦК структурой (постоянная решетки $a_0 \approx 750$ нм), путём заполнения октаэдрических и тетраэдрических пустот никелем или кобальтом в поликристаллическом состоянии (Ni(Co) инвертированные опалоподобные структуры – Ni(Co) ИОПС) [1]. Плёнки Ni(Co) ИОПС, толщиной от 1.5 до 11 мкм, также характеризуются ГЦК структурой с ориентацией осей [111] и [-12-1] перпендикулярно и в плоскости подложки, соответственно. Методы SQUID-магнитометрии и малоуглового рассеяния нейтронов использовались для измерения величины среднего магнитного момента и определения направления векторов локальной намагниченности в ИОПС. На основании данных SQUID-магнитометрии показано наличие двух процессов перемагничивания образцов – «керлинг» и когерентный переворот вектора намагниченности в зависимости от ориентации внешнего магнитного поля, которую поворачивали от оси [-12-1] к оси [111] с шагом 5 градусов. Анализ процесса перемагничивания образцов проводился с учетом влияния 3 факторов: анизотропии атомной кристаллической решетки материала заполнения - Ni(Co), анизотропии формы образца – пленки и трехмерной (ГЦК) анизотропии ИОПС.

Из данных малоуглового рассеяния нейтронов можно заключить, что вектора намагниченности в Ni(Co) ИОПС имеют неоднородное пространственное распределение и преимущественно ориентируются вдоль 4 направлений типа $\langle 111 \rangle$ ГЦК структуры. Причём, в полях вблизи коэрцитивного поля ($H_C \approx 20$ мТ) магнитная структура оказывается геометрически фрустрированной, с вырожденным основным состоянием. Вырождение снимается при увеличении магнитного поля. При этом, магнитная энергия образца минимизируется в соответствии с величиной и направлением поля, а также «правилом льда» для магнитных наносистем. «Правило льда», использованное при составлении диаграмм локальной намагниченности в Ni(Co) ИОПС сформулировано следующим образом: число вошедших в структурный элемент векторов локальной намагниченности должно быть равно числу вышедших. Установлено, что с приложением внешнего поля в плоскости пленки ИОПС (вдоль оси [-12-1]) возникает компонента намагниченности, перпендикулярная плоскости образца (т.е. вдоль [111] ИОПС). Эта перпендикулярная компонента меняет свой знак с изменением направления внешнего магнитного поля. Приложение внешнего поля в плоскости пленки ИОПС (вдоль оси [-110]) приводит к еще более сложной ситуации, когда возникают компоненты намагниченности, перпендикулярные полю: одна - вдоль [111] ИОПС, а другая - вдоль [11-2] ИОПС, которые между собой взаимосвязаны правилом (правой/левой) руки. Появление этих компонент намагниченности связано с формой единичного элемента ИОПС и «правилом льда».

Работа выполнена при поддержке совместной программы ДААД и СПбГУ "Дмитрий Менделеев" 2012 года, гранта РФФИ 10-02-00634-а, премии благотворительного фонда «Поколение» 2012, а также гранта G-RISC – P2012a-11.

[1] С.В. Григорьев, Н.А. Григорьева, А.В. Сыромятников, К.С. Напольский, А.А. Елисеев, А.В. Лукашин, Ю.Д. Третьяков, Х. Эккерлебе, Письма в ЖЭТФ, т. 37(1), С.15-21, 2008.

Малоугловая дифракция поляризованных нейтронов в массивах магнитных нанонитей

А.П. Чумаков¹, С.В. Григорьев^{1,2}, А.В. Сыромятников^{1,2}, К.С. Напольский³, И.В. Росляков³,
А.А. Елисеев², Н.А. Григорьева², Х. Эккерлебе⁴

¹ Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия

² Санкт-петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

³ МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

⁴ Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Geesthacht, Germany

До сих пор остаётся открытым вопрос о процессах перемагничивания, происходящих внутри массива магнитных нанонитей, в то время как данные объекты уже активно используются для хранения информации и других магнитоэлектронных устройствах. В данной работе исследовали двумерные упорядоченные массивы ферромагнитных никелевых нанонитей, внедрённые электроосаждением в поры диамагнитной матрицы анодированного Al_2O_3 . Нанонити диаметром 50 нм и длиной 20 мкм гексагонально упорядочены. Расстояние между центрами нитей составляет 105 нм. Аттестацию магнитных свойств образцов проводили методом малоугловой дифракции поляризованных нейтронов. Нейтронный пучок ($\lambda = 5.8 \text{ \AA}$, $\Delta\lambda/\lambda=0.1$, $P_0=0.95$, расходимость $\eta=1.5$ мрад) падал параллельно продольной оси нанонити (перпендикулярно поверхности мембраны) и формировал на детекторе двумерную гексагональную картину дифракции. Для используемой установки SANS-2 (HZG, Geesthacht, Германия) длина и сечение когерентного объёма пучка составили 20 мкм и 0.25 мкм^2 , что соответствует части массива, состоящему из примерно 25 нанонитей [1]. Внешнее магнитное поле прикладывалось перпендикулярно оси нанонити. Анализировались немагнитный (ядерный) вклад, магнитный вклад, зависящий от магнитного поля и интерференционный вклад в рассеяние, показывающий корреляцию между магнитной и ядерной структурами.

Установлено, что азимутальное распределение магнитного и интерференционного вкладов в рассеяние ведёт себя необычным образом. А именно, магнитное и интерференционное рассеяние максимально при $\mathbf{q} \parallel \mathbf{H}$, что противоречит теоретическим ожиданиям, предсказывающим максимальное распределение интенсивности при $\mathbf{q} \perp \mathbf{H}$. Этот факт свидетельствует о наличии компоненты магнитной индукции \mathbf{B} , перпендикулярной внешнему магнитному полю \mathbf{H} . Связано это с тем, что при приложении поля перпендикулярно оси нанонити в полностью намагниченном образце ($\mathbf{M} \parallel \mathbf{H}$) вокруг каждой нити появляются размагничивающие поля, образующие регулярную гексагональную решетку. В этом случае преимущественный вклад в сечение рассеяния поляризованных нейтронов даёт не сама нанонить, а размагничивающие поля вокруг неё. Таким образом, при анализе магнитной и интерференционной составляющих рассеяния на подобных двумерных упорядоченных магнитных наносистемах следует учитывать, что наблюдаемое рассеяние определяется размагничивающими полями внутри образца.

На основе анализа полученных данных построена теоретическая модель перемагничивания массива взаимодействующих нанонитей в магнитном поле.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 10-02-00634-а и в рамках государственного контракта No. 07.514.12.4003.

[1] S.V. Grigoriev, A.V. Syromyatnikov, A.P. Chumakov et al., Phys.Rev. B, **81** (2010) 125405.

Магнитные и структурные свойства систем чередующихся ферромагнитных гранулированных/ полупроводниковых слоёв $[(\text{Co}_{45}\text{Fe}_{45}\text{Zr}_{10})_x(\text{Al}_2\text{O}_3)_{(1-x)}/\text{a-Si:H}]_m$

В.А. Уклеев¹, Е.А. Дядькина¹, А.А. Воробьёв^{1,2}, D. Lott³, А.В. Ситников⁴, Ю.Е. Калинин⁴,
О.В. Геращенко¹, С.В. Григорьев^{1,5}

¹ *Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия*

² *ESRF, Grenoble, France*

³ *Helmholtz Zentrum Geesthacht, Geesthacht, Germany*

⁴ *Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия*

⁵ *Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия*

В данной работе были исследованы многослойные наноструктуры, изготовленные методом ионно-лучевого напыления в Воронежском государственном техническом университете. Структура состоит из периодически чередующихся бислоёв металл-диэлектрик (МД) $(\text{Co}_{45}\text{Fe}_{45}\text{Zr}_{10})_x(\text{Al}_2\text{O}_3)_{(1-x)}$ / полупроводник (ПП) a-Si:H. МД слой представляет собой аморфную матрицу Al_2O_3 с инкапсулированными наночастицами ферромагнитного сплава $\text{Co}_{45}\text{Fe}_{45}\text{Zr}_{10}$. Полупроводниковый слой состоит из аморфного гидрогенизированного кремния a-Si:H. Такая структура проявляет необычные проводящие и магнитные свойства, такие как образование магнитно-мёртвых слоёв на интерфейсе МД/ПП. Кроме того, в зависимости от толщины ПП слоя происходит изменение электропроводящих (аномальное поведение удельного сопротивления) и интегральных магнитных свойств (аномальное поведение намагниченности) образцов при прочих равных параметрах. Для исследования были выбраны образцы с концентрацией ферромагнетика $x = 35$ ат. % с различными толщинами ПП прослоек $d_{\text{Si}} = 0.7$ нм, 1.5 нм и 2.3 нм, причём образец с промежуточным значением d_{Si} обладает минимальным удельным сопротивлением. Рассеяние синхротронного излучения в скользящей геометрии (GISAXS) позволяет определять латеральное распределение наночастиц в матрице, а зеркальная рефлектометрия – толщины МД и ПП слоёв. Согласно данным GISAXS, образец с номинальной толщиной полупроводниковой прослойки $d_{\text{Si}} = 0.7$ нм представляет собой трёхмерную структуру со слабо упорядоченным распределением наночастиц со средним межчастичным расстоянием $l = 3.0$ нм. В образцах с прослойкой в $d_{\text{Si}} = 1.5$ нм и $d_{\text{Si}} = 2.3$ нм наночастицы упакованы в чередующиеся в вертикальном направлении слои со средним межчастичным расстоянием $l = 5.7$ нм и $l = 4.7$ нм, соответственно. По картам рассеяния синхротронного излучения было определено, что в образце с $d_{\text{Si}} = 1.5$ нм в латеральном направлении МД слои сдвинуты друг относительно друга на расстояние порядка размера одной наночастицы, а при $d_{\text{Si}} = 2.3$ нм наночастицы, разделённые слоем кремния располагаются друг под другом. Это предположение подтверждается данными рефлектометрии. Кроме того, было установлено, что в структурах с толщинами прослоек $d_{\text{Si}} = 0.7$ нм и 1.5 нм происходит наследование ступенчатой шероховатости от слоя к слою, что приводит к асимметричному распределению интегральной интенсивности карт рассеяния GISAXS и наклону Брэгговских листов относительно линии зеркального отражения. Интегральные магнитные свойства исследовались методом магнито-оптического эффекта Керра. Структуры обладают меньшей магнитной восприимчивостью в поперечном сечении, чем в продольном, что является типичным поведением для тонких плёнок. Интегральная намагниченность зависит от толщины прослойки и минимальна для образца с $d_{\text{Si}} = 1.5$ нм.

Таким образом, в работе установлено, что транспортные и магнитные свойства многослойной структуры определяются её структурой и морфологией.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 12-02-12066-офи_м и в рамках государственных контрактов No.02.740.11.0874 и 07.514.12.4003.

Нарушение киральной симметрии геликоидальной спиновой структуры в многослойной системе Ho/Y

В.В. Тарнавич¹, D. Lott², S. Mattauch³, V. Karaklis⁴, С.В. Григорьев^{1,5}

¹Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия

²Helmholtz Zentrum Geesthacht, Geesthacht, Germany

³Jülich Centre for Neutron Science (JCNS), Garching, Germany

⁴Uppsala University, Uppsala, Sweden

⁵Санкт-петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

Известно, что киральность геликоидальных магнитных структур в кристаллах, не имеющих кристаллографического центра инверсии, определяется знаком антисимметричного обменного взаимодействия Дзялошинского-Мория (ДМ). В то же время в материалах с наличием кристаллографического центра инверсии право- и лево-сторонние спирали энергетически эквивалентны. Подобное вырождение может быть снято приложением внешней силы, такой как электрическое поле, деформация кручения и т.д. Так в многослойной сверхструктуре Dy/Y (где Dy является планарным магнетиком со спиральной структурой) было обнаружено нарушение киральной симметрии. Было установлено, что при охлаждении образца ниже T_N в магнитном поле, приложенном в его плоскости, меняется соотношение между левыми и правыми спиралями [1].

Эксперименты, проведённые на Ho/Y многослойными сверхструктурами с использованием нейтронной рефлектометрии поляризованных нейтронов, также продемонстрировали нарушение киральной симметрии, связанное с приложением внешнего магнитного поля. Три образца с последовательностью слоёв $[\text{Ho}_{3.0 \text{ nm}}/\text{Y}_{3.0 \text{ nm}}]_{20}$ (S1), $[\text{Ho}_{3.0 \text{ nm}}/\text{Y}_{3.0 \text{ nm}}]_{20}$ (S2) и $[\text{Ho}_{3.0 \text{ nm}}/\text{Y}_{1.5 \text{ nm}}]_{20}$ (S3) были выращены как монокристаллы методом молекулярно-лучевой эпитаксии вдоль оси с [001] гексагональной структуры Ho и Y. Для формирования магнитной спиральной структуры с неодинаковой заселённостью левых и правых спиральных доменов образец охлаждался в магнитном поле до температур T ниже T_N (режим FC охлаждения). Среднее значение киральности, пропорциональное разности числа левых и правых спиралей, измеряли как поляризационно-зависимую часть магнитного рассеяния нейтронов: $\gamma = (\Gamma^+ - \Gamma^-) / (\Gamma^+ + \Gamma^-)$, где Γ^{\pm} - интегральные интенсивности отражения нейтронов с поляризацией, ориентированной вдоль или против направления ведущего магнитного поля.

Установлено, что при охлаждении в нулевом поле параметр киральности γ равен 0. С увеличением магнитного поля в режиме FC охлаждения γ непрерывно растёт для образцов S1 и S3, в то время как для S2 параметр γ остаётся близким к 0. Отличный от нуля γ для S1 и S3, и $\gamma = 0$ для S2 наблюдается на температурной зависимости $\gamma(T)$ (в режиме FC прикладывалось поле $H = 1$ Тл). Разница в поведении параметра γ коррелирует с тем фактором, что период спирали меняется с температурой для образцов S1 и S3 в диапазоне от 2.0 до 2.2 нм, в то время как для S2 период остаётся неизменным и равным 2.0 нм при всех T . Анализ двумерных карт распределения интенсивностей рассеяния показал, что с ростом приложенного поля размеры магнитных доменов уменьшается на 20-30% по сравнению с размерами доменов в нулевом поле.

Отсутствие нарушения киральной симметрии в образце S2 и её наличие в S1 и S3 может быть связано с замораживанием период спирали кратного периода сверхструктуры в образце S2. Явление замораживания периода спирали наблюдается и в «объёмном» гольмии, хотя в нём оно имеет узкий температурный интервал.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 12-02-01125-а и в рамках государственных контрактов No.02.740.11.0874 и 07.514.12.4003.

[1] S.V. Grigoriev et al., Phys.Rev. B 82, 195432 (2010).

Структура магнитной жидкости магнетит/олеиновая кислота/декалин с избытком кислоты по данным малоуглового рассеяния нейтронов

А.В. Нагорный^{1,2}, В.И. Петренко^{1,2}, Л.А. Булавин², L. Almasy^{3,4},
М.В. Авдеев¹, L. Rosta⁴, В.Л. Аксенов^{5,1}

¹Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

²Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко, Киев, Украина

³Paul Scherrer Institut, Villigen, Switzerland

⁴Research Institute for Solid State Physics and Optics, Budapest, Hungary

⁵НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия

Агрегационная устойчивость магнитных жидкостей (МЖ), или феррожидкостей, которые представляют собой коллоидные растворы магнитных наночастиц, покрываемых для предотвращения их агрегации поверхностно-активными веществами (ПАВ), определяется существенным образом взаимодействием ПАВ с растворителем. Одним из важных факторов, влияющих на устойчивость МЖ, является концентрация молекул ПАВ в растворе. На практике подбирается оптимальное значение количества ПАВ в МЖ, при котором наблюдается наилучшая устойчивость системы. Настоящая работа выполнена в рамках систематического изучения влияния избытка ПАВ на структуру МЖ различных классов [1-5].

С помощью малоуглового рассеяния нейтронов (МУРН) определены структурные параметры магнитной жидкости магнетит/олеиновая кислота/декалин при различном избытке олеиновой кислоты (ОК) в объеме МЖ (до 20 об. %). На основе дополнительного сравнения поведения ОК в МЖ и в чистом растворителе сделан вывод об изменении взаимодействия между молекулами свободного (неадсорбированного) ПАВ в присутствии магнитных наночастиц. Тем не менее, МЖ остается устойчивой в отношении образования агрегатов как магнитных наночастиц, так и ПАВ в исследуемом диапазоне концентрации ПАВ. Проведено сравнение полученных результатов с ранее представленными данными для аналогичных МЖ на основе бензола [1-3].

[1] В.И. Петренко, М.В. Авдеев, В.Л. Аксенов, Л.А. Булавин, Л. Рошта. *Поверхность. Рентг. Синхр. Нейтр. Исслед.* 2 (2009) 92–96.

[2] V.I. Petrenko, M.V. Avdeev, V.L. Aksenov, L.A. Bulavin, L. Rosta. *Solid State Phenom.* 152-153 (2009) 198–201.

[3] V.I. Petrenko, M.V. Avdeev, L. Almásy, L.A. Bulavin, V.L. Aksenov, L. Rosta, V.M. Garamus. *Coll. Surf. A* 337 (2009) 91–95.

[4] М.В. Авдеев, И.А. Боднарчук, В.И. Петренко, Х.Т. Холмуродов, С.П. Ярадайкин. *ЖФХ* 83(7) (2009) 1275–1280.

[5] V.I. Petrenko, M.V. Avdeev, V.M. Garamus, L.A. Bulavin, V.L. Aksenov, L. Rosta. *Coll. Surf. A* 369 (2010) 160–164.

Структурный аспект формирования оптических свойств в кристаллофосфорах $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}/\text{Lu}_2\text{O}_3$

С.Е. Кичанов¹, Е.В. Фролова², Г.П. Шевченко², Д.П. Козленко¹, Е.В. Лукин¹,
Г.Е. Малашкевич³, В.П. Глазков⁴, Б.Н. Савенко¹

¹Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

²Научно-исследовательский институт физико-химических проблем БГУ, Минск, Беларусь

³Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, Минск, Беларусь

⁴НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия

Наиболее перспективным и широко изученным материалом для лазерной и фотолюминесцентной техники являются кристаллофосфоры на основе алюмоиттриевых гранатов - $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ (YAG). Такие соединения, активированные ионами редкоземельных элементов, широко применяются в лазерной оптике и электронике, а кристаллофосфоры на основе YAG, активированные ионами Ce^{3+} , имеют широкие перспективы для производства светоизлучающих диодов (LED) белого цвета свечения. Коллоидно-химические методы синтеза сложнооксидных систем, и в частности, неорганический вариант золь-гель метода [1], позволяют тонко управлять оптическими свойствами получаемых материалов за счет формирования метастабильных фаз с высокой концентрацией дефектов, а также изменения кристаллического окружения иона-активатора.

Методом нейтронной дифракции при комнатной температуре исследованы особенности кристаллической структуры кристаллофосфоров $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}/\text{Lu}_2\text{O}_3(\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Ce})$, полученных коллоидно-химическим методом и изучено влияние способа введения Lu_2O_3 в систему на структуру и спектрально люминесцентные свойства образцов.

Результаты настоящей работы показывают, что с помощью коллоидно-химического метода синтеза возможно получение ультрадисперсных люминесцирующих материалов $\text{YAG}:\text{Ce}^{3+}/\text{Lu}_2\text{O}_3$, характеризующихся интенсивной полосой люминесценции в области длин волн 575-585 нм, смещенной в красную область спектра по сравнению с соответствующей областью вблизи 550 нм для алюмоиттриевых гранатов, допированных только Ce^{3+} , и полученных твердофазным методом. Установлено, что добавление к высокодисперсному $\text{YAG}:\text{Ce}^{3+}$ аморфного Lu_2O_3 или $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Ce}^{3+}$ значительно увеличивает интегральную интенсивность люминесценции системы и сдвиг ее максимума, что обусловлено взаимодействием на поверхности раздела фаз $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}/\text{Lu}_2\text{O}_3$ с формированием устойчивой дефектной структуры в кислородной подрешетке данных кристаллофосфоров.

Работа выполнена при поддержке гранта БРФФИ-ОИЯИ № X12Д-005, гранта РФФИ №12-02-00794-а, госконтрактов №02.740.11.0542 и №16.518.11.7029 в рамках Федеральных целевых программ «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2012 годы» и «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 годы».

[1] E.V. Frolova, M.I. Ivanovskaya, *Structural defects formation in the inorganic sol-gel derived oxides* in thesis book of Defect and Diffusion Forum. Annual Retrospective VII. Switzerland: Trans. Tech. Publ., 242–244, 143–158 (2005).

Кластерообразование в силикатных стеклах, допированных оксидами церия и титана

С.А. Самойленко^{1,2}, С.Е. Кичанов¹, А.В. Белушкин¹, Д.П. Козленко¹, Б.Н.Савенко¹,
Л.А. Булавин², В.М. Гарамус³, Г.П. Шевченко⁴, В.С.Гурин⁴

¹ Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

² Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев, Украина

³ Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Geesthacht, Германия

⁴ Научно-исследовательский институт физико-химических проблем БГУ, Минск, Беларусь

В последнее время возрос научный интерес к исследованию наноструктурированных функциональных материалов. Таковыми материалами являются силикатные стекла, допированные оксидами титана и церия. Они имеют выборочное поглощение света в видимой части спектра, характеризуются высокой температурной стабильностью и устойчивостью к жесткому ультрафиолетовому излучению.

С помощью метода малоуглового рассеяния нейтронов исследовано формирование Ti-Se-O кластеров в силикатных стеклах, допированных оксидами TiO₂ и SeO₂. При увеличении концентрации исходных оксидов наблюдается рост среднего размера кластеров от 330 Å до 380 Å, а также изменение их оптических свойств. Обсуждается взаимосвязь между структурными характеристиками сформировавшихся кластеров и оптическими свойствами допированных силикатных стекол.

Работа поддержана грантом БРФФИ-ОИЯИ №X12Д-005, госконтрактами №02.740.11.0542 и №16.518.11.7029 и Федеральными целевыми программами «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2012 годы» и «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 годы».

Атомные колебания в наночастицах галлия и висмута, синтезированных внутри пористых стекол

Ю.А. Кибалин¹, И.В. Голосовский¹, Ю.А. Кумзеров²,
В.Ю. Помякушин³, G. André⁴, П.П. Паршин⁵

¹ Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия

² Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия

³ Paul Scherrer Institute, Villigen, Switzerland

⁴ Laboratoire Léon Brillouin, CEA/Saclay, Gif sur Yvette, France

⁵ НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия

Движение атомов определяет фундаментальные свойства вещества, такие как теплопроводность и тепловое расширение, что вызывает большой интерес к исследованию колебаний в наноструктурированных соединениях, в частности, синтезированных внутри пористых стекол. Для этой цели хорошо подходят легкоплавкие металлы, такие как галлий и висмут, которые обладают большой амплитудой атомных колебаний. Более того, развитая технология внедрения наночастиц в пористые стекла из расплава под давлением позволяет получать наночастицы с узким распределением по размеру.

Нейтронной дифракцией показано, что наночастицы галлия с размерами 13-13.5 нм, синтезированные в стеклянной матрице с пораами размером около 7 нм, обладают необычными свойствами. При комнатной температуре галлий в порах находится в жидком состоянии, и при кристаллизации образуется текстура, которая зависит от скорости охлаждения образца, и которая влияет на физические свойства. При нагреве текстурный индекс резко падает в температурном интервале 5-10 К. Причем, при этих же температурах исчезают внутренние напряжения. Наблюдаемые эффекты объясняются взаимодействием наночастиц и матрицы стекла, которое связано с различием в коэффициентах теплового расширения галлия и стекла.

Моделирование текстуры по методу обобщенных сферических гармоник позволили вычислить температурную зависимость средне-квадратичного смещения атомов. Аппроксимация этой зависимости моделями Дебая и Эйнштейна показывают, что вклад акустических колебаний в фононного спектра наноструктурированного галлия является доминирующим. Температура Дебая для наноструктурированного галлия оказалась близка к температуре для объемного образца. Это означает, что плотность фононных состояний не претерпевает значительных изменений на низких частотах. Ангармонические эффекты в наноструктурированном галлии оказались значительны. В частности показано, что константа Грюнайзена для наноструктурированного галлия существенно меньше, чем в объемном образце. Это согласуется с более низким коэффициентом теплового расширения наноструктурированного галлия, рассчитанного из температурной зависимости параметров ячейки, по сравнению с объемным образцом.

Подобные эффекты: текстура, более низкий коэффициент теплового расширения, близость температур Дебая наблюдались также в наноструктурированном Bi.

Работа поддержана грантами РФФИ 10-02-00576, и МинОбрНауки N16.518.11.7034.

- [1] Y.A. Kibalin, I.V. Golosovsky, Y.A. Kumzerov, V.Y. Pomjakushin, A.A. Bosak, P.P. Parshin, "Neutron diffraction study of gallium nanostructured within a porous glass", PRB, **86**, 024302, 2012.
- [2] Ю.А. Кибалин, И.В. Голосовский, Ю.А. Кумзеров, Ж. Андрэ, "Применение метода дифракции нейтронов для изучения атомных колебаний в наноструктурированных объектах", Научно-технические ведомости СПбГПУ (физико-математические науки), **94**, 59, 2010.

Сессия IX: Источники нейтронов I

Latest developments of neutron scattering instrumentation at the Juelich Centre for Neutron Science

A. Ioffe

Juelich Centre for Neutron Science, Outstation at FRM II, Garching, Germany

Significant efforts in the development and upgrades of the neutron scattering instrumentation to keep it in line with the continuously changing scientific request, are undertaken at the Jülich Centre for Neutron Science (JCNS) and are of a great importance for the forthcoming instrumentation at the PIK reactor.

These developments are mostly based upon the latest progress in neutron optics and polarized neutron techniques, particularly the neutron focusing and the wide-angle polarization analysis using ^3He neutron spin filters with on-beam pumping. They will be illustrated by examples of small-angle scattering diffractometers, high-resolution spectrometers and reflectometers.

Нейтронные исследования на реакторе ИВВ-2М

В.И. Бобровский

Институт физики металлов УрО РАН, Екатеринбург, Россия

Нейтронный материаловедческий комплекс ИФМ УрО РАН на реакторе ИВВ-2М является единственным в Урало-Сибирском регионе нейтронным центром, где проводятся нейтронные исследования в области физики конденсированного состояния и единственным в России, на котором нейтронографическими методами исследуются также высокорadioактивные материалы. Мощность реактора – 15 МВт. Плотности потоков тепловых и быстрых нейтронов в центре активной зоны – $1 \cdot 10^{14}$ и $4 \cdot 10^{14}$ н/см²·сек, соответственно. На реакторе имеется набор специализированных горизонтальных (для вывода пучков тепловых нейтронов из активной зоны) и вертикальных (для облучения образцов) экспериментальных каналов. Штат НМК: 1 чл.-корр. РАН, 6 докторов наук, 13 кандидатов наук, 25 инженеров и техников высокой квалификации. В 2011–2012 гг. работы в НМК ИФМ УрО РАН велись в рамках 10 программ, финансируясь, помимо бюджета, 18 грантами.

Два основных направления исследований Нейтронного материаловедческого комплекса:

1. Радиационная физика (изучение эффектов, вызванных облучением материалов быстрыми нейтронами). Получены:

- новые данные о процессах образования наноразмерных выделений в реальных реакторных сталях и модельных сплавах в зависимости от легирования и технологической обработки, идущих при облучении, деформации и термических воздействиях, и их влиянии на физико–механические свойства этих материалов;

- данные по отклику новых сверхпроводящих материалов (пниктидов, халькогенидов, карбидов и т.д.) на внесение радиационных дефектов. Изучение влияния немагнитного беспорядка, созданного облучением быстрыми нейтронами, на свойства сверхпроводников позволяет выявить, относится данное соединение к обычным СП с электрон-фононным механизмом сверхпроводимости, или к СП с экзотическим (нефононным) взаимодействием.

2. Нейтронография (кристаллические и магнитные структуры различных материалов в исходном и облученном быстрыми нейтронами состояниях, фазовые переходы, диаграммы состояния, фазовый состав различных материалов, нанокристаллическая структура, выделения нанофаз, методы анализа данных нейтронных экспериментов). Изучены:

- природа высокой проводимости перспективных электродных материалов для новых источников тока (ионики, твердые электролиты: фосфаты, алюминаты, ферраты, металлфосфаты K, Li);

- особенности микроструктуры магнитных полупроводников типа $A^{II}B^{VI}$, легированных 3d-ионами;

- фазовые переходы в гидридах $ErFe_2H_{3.1}$, $ErFe_2D_{3.1}$;

- магнитная структура и фазовые переходы в системе соединений с конкурирующими анизотропиями $Tb_xEr_{1-x}Ni_5$;

- фрустрированное магнитное состояние редкоземельных интерметаллидов R_5Pd_2 ;

- структура и магнитные свойства быстрозакаленных сплавов $Nd_2Fe_{14}B$, $Er_2Fe_{14}B$ и $La_{0.9}Tb_{0.1}Mn_2Si_2$ до и после полной радиационной аморфизации;

Развиты математические методы для описания разрешения нейтронных дифрактометров с учетом пространственных эффектов.

Источники холодных нейтронов и перспективы развития

А.А. Захаров

Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия

Холодные нейтроны имеют высокую востребованность в исследованиях конденсированного состояния, что повлекло оснащение нейтронных источников ведущих научных центров мира источниками холодных нейтронов. Проведён аналитический обзор существующих источников холодных нейтронов, рассмотрены проблемы, связанные с их созданием, обсуждаются перспективные направления проектирования и возможность установки источников холодных нейтронов на уже действующих исследовательских реакторах.

Сессия IX: Источники нейтронов II

Источники холодных нейтронов реактора ПИК

В.А. Митюхляев

Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия

Для существенного расширения экспериментальных возможностей реактора ПИК планируется создание трех высокоэффективных источников холодных нейтронов в горизонтальных экспериментальных каналах ГЭКЗ, ГЭК2 и ГЭК4-4'.

Одним из передовых методов получения высоко интенсивных пучков холодных нейтронов ($E < 0,005$ эв, $\lambda > 4\text{\AA}$) является использование низкотемпературного замедлителя на основе жидкого дейтерия, установленном в оптимальном месте тяжеловодного отражателя реактора в непосредственной близости к максимуму потока тепловых нейтронов. Приводятся основные нейтронно-физические характеристики источников.

Нейтронный комплекс ИЯИ РАН: статус и перспективы

Э.А. Коптелов, Л.В. Кравчук, В.А. Матвеев, М.И. Грачев, С.Ф. Сидоркин,
Н.М. Соболевский, А.А. Бергман, Ю.В. Рябов, В.А. Федченко

Институт ядерных исследований РАН, Москва, Россия

В Российской Федерации в ИЯИ РАН вводится в научную эксплуатацию крупномасштабный комплекс нейтронных источников spallation-типа, управляемых сильноточным ускорителем ионов водорода. Создание в передовых странах многоцелевых центров исследований нейтронными методами структуры и динамики новых материалов, включая наноматериалы, на базе больших ускорительных комплексов, где интенсивные импульсные пучки нейтронов генерируются протонами, является одним из основных трендов развития современной экспериментальной базы, наряду с созданием источников синхротронного излучения нового поколения.

Нейтронный комплекс ИЯИ РАН включает в себя три нейтронных источника: импульсный нейтронный источник ИН-06, высокочувствительный 100-тонный спектрометр по времени замедления нейтронов в свинце (СВЗ-100) и нейтронный источник РАДЭКС с время-пролетным нейтронным спектрометром на базе модифицированной ловушки пучка протонов (РАДЭКС-ВПНС). Комплекс расположен в Троицке – научном центре РАН, вошедшим в состав новой Москвы.

Импульсный нейтронный источник ИН-06 был разработан специально для нейтронных исследований структуры и динамики конденсированных сред методами рассеяния тепловых нейтронов. Измерения на ИН-06 могут проводиться по различным направлениям исследований твердых и жидких субстанций в интересах науки и технологий. Два других нейтронных источника (СВЗ-100 и РАДЭКС-ВПНС) используются, главным образом, для измерения нейтронных данных, необходимых для развития ядерной энергетики и физики ядра. Источник РАДЭКС-ВПНС может быть также использован для дополнительного исследования конденсированных сред эпитепловыми и тепловыми нейтронами. В настоящее время ускоритель обеспечивает пучки протонов с энергией 209 МэВ и током до 150 мкА. При этом полный поток нейтронов зависит от длительности импульсов протонного пучка в интервале от 0,25 до 180 мкс и может достигать $1,2 \times 10^{15}$ н/с в полный телесный угол (4π). На следующем этапе ставится задача достижения энергии 500 МэВ при токе до 300 мкА. Интенсивность нейтронов и длительность нейтронных импульсов могут меняться в зависимости от режима работы ускорителя.

Первая очередь Нейтронного комплекса включает в себя размещение нейтронографических установок на каналах ИН-06. Измерения при высоких давлениях и “*in situ*” эксперименты с водородосодержащими материалами являются отличительной особенностью возможностей нейтронного центра ИЯИ РАН. В дополнение к нейтронным установкам имеется набор современных рентгенографических установок для структурных исследований при комнатных и низких температурах.

Нейтронографические установки создаются ИЯИ РАН совместно с НИЦ «Курчатовский институт», Институтом физики высоких давлений РАН, Петербургским институтом ядерной физики, Физическим институтом им. П.Н.Лебедева РАН.

Отмеченные выше возможности Нейтронного комплекса ИЯИ РАН для исследования и диагностики структурных материалов разной природы будут доступны для широкого сотрудничества в ближайшем будущем после получения разрешения на эксплуатацию комплекса в существующем объеме.

Нейтронографический комплекс для исследования конденсированных сред и нанодиагностики на базе импульсного источника нейтронов ИН06 ИЯИ РАН

Р.А. Садыхов^{1, 2, 3}, А.А. Алексеев¹, В.С. Литвин¹, Е.С. Клементьев^{1, 5, 6}, С.Н. Аксенов¹,
А.С. Кононыхин¹, Д.Н. Трунов¹, С.П. Кузнецов⁴, И.В. Мешков⁴, Ю.А. Лапушкин⁴,
В.А. Федченко¹, В.К. Горбунов¹, А.П. Артюшин¹, Е.В. Пономарева¹, М.И. Грачев¹,
А.В. Фещенко¹, В.Л. Серов¹, П.А. Алексеев⁵, А.П. Булкин⁷, В.А. Ульянов⁷,
В.А. Трунов⁷, Л.В. Кравчук¹, Э.А. Коптелов¹

¹Институт ядерных исследований РАН, Москва, Россия

²Институт физики высоких давлений РАН, Троицк, Россия

³НИИЯФ имени Д.В. Скобельцына МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

⁴Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, Россия

⁵НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия

⁶НИЯУ МИФИ, Москва, Россия

⁷Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия

В ИЯИ РАН создан импульсный источник нейтронов ИН06 на базе сильноточного линейного ускорителя протонов для развития нейтронных исследований конденсированных сред и активно развивающейся области исследований наносистем и материалов.

Представлен комплекс нейтронографических установок первой очереди созданных на импульсном источнике нейтронов источника ИН-06 в зале экспериментального комплекса ИЯИ РАН:

1. «МНС» – многоцелевая установка для определения структуры с блоком детектирования методом фокусировки по времени пролета (совместно с ФИАН).
2. «Горизонт» – малоугловой спектрометр-рефлектометр с вертикальной плоскостью рассеяния нейтронов для исследования поверхностей и наноструктур (совместно с ПИЯФ).
3. «Геркулес» – дифрактометр для исследования веществ при высоком давлении до 100 кбар in situ (совместно с НИЦ-КИ, ИФВД).
4. «Диас» – дифрактометр для исследования структуры объемных поликристаллов (совместно с НИЦ-КИ).
5. «Кристалл» – дифрактометр для исследования структуры монокристаллов при различных температурах и давлениях.

Получены первые спектры прямых пучков установок и нейтронограммы тестовых образцов.

Пятница, 19 октября 2012 года

Сессия X: Приборы и методика нейтронного эксперимента

Нейтронная фурье-дифрактометрия высокого разрешения: перспективы развития

В.А. Кудряшов

Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия

В ходе длительной эксплуатации Фурье-дифрактометров [1-5] HRFD и FSD на импульсном реакторе ИБР-2 в Дубне проявились ряд проблем и недостатков. Основная проблема – это сложная форма дифракционных пиков, заметно отличающаяся от гауссовой. Дифракционные пики могут быть ассиметричными и иметь отрицательные выбросы с обеих сторон. Как показал анализ приборной формы дифракционных пиков, наблюдаемое искажение формы связано в основном с недостаточной стабильностью формирования pick-up сигналов от Фурье-прерывателя.

Вторым серьезным недостатком является недостаточно высокая интенсивность счета детектора HRFD по сравнению с зарубежными приборами при разрешении, близком к 0.001. Следствием этого является значительно большее время эксперимента. Одной из основных причин недостаточно высокой интенсивности счета является малый телесный угол детектора HRFD, его величина составляет 0.18 стерadians.

В работе рассматриваются причины отклонения приборной формы дифракционных пиков от гауссовой [6-7] и формулируются условия для получения стабильной и правильной гауссовой формы в Фурье-методе. Рассматриваются некоторые пути выполнения условий для стабильной гауссовой формы.

В работе также рассматривается новая концепция детекторной системы HRFD [5], позволяющая увеличить телесный угол детектора по сравнению с существующим в ~10 раз. Величина максимального разрешения при этом составит ≈ 0.0005 .

- [1] V.L. Aksenov, A.M. Balagurov, V.G. Simkin, Yu.V. Taran, V.A. Trounov, V.A. Kudryashov, A.P. Bulkin, V.G. Muratov, P. Hiismaki, A. Tiitta, and O. Antson, "The new Fourier diffractometer at the IBR-2 reactor: design and first results" Proceedings of ICANS-XII, 24-28 May 1993, Abingdon, U.K., vol. 1, I-124-131.
- [2] Kudryashov, A.P. Bulkin, V.G. Muratov, P. Hiismaki, A. Tiitta, and O. Antson, "The new Fourier diffractometer at the IBR-2 reactor: design and first results" Proceedings of ICANS-XII, 24-28 May 1993, Abingdon, U.K., vol.1, I-124-131.
- [3] V.L. Aksenov, A.M. Balagurov, V.G. Simkin, A.P. Bulkin, V.A. Kudryashev, V.A. Trounov, O. Antson, P. Hiismaki, A. Tiitta "Performance of the high resolution Fourier diffractometer at the IBR-2 pulsed reactor" J. of Neutron Research. **5**, 181 (1997).
- [4] G.D. Bokuchava, V. L. Aksenov, A. M. Balagurov, E.S. Kuzmin, V.V. Zhuravlev, A.P. Bulkin, V.A. Kudryashev, and V. A. Trounov Applied Physics A, **74**, S86 (2002).
- [5] E.S. Kuzmin, A. M. Balagurov, G. D. Bokuchava, V.V. Zhuk, V. A. Kudryashev, A. P. Bulkin, and V.A. Trounov, J. of Neutron Research **10**, 31 (2002).
- [6] A.M. Balagurov, V.A. Kudryashov. "Correlation Fourier diffractometry for long-pulse neutron sources: a new concept", ICANS XIX, March 8 – 12, 2010.
- [7] V.A. Kudryashev, H.G. Priesmeyer, J.M. Keuter, J. Schroder, R. Wagner. "On the shape of the diffraction peaks measured by Fourier reverse time-of flight spectrometry", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B **101**, 1995, pp.484-492.
- [8] V.A. Kudryashev, H.G. Priesmeyer, J.M. Keuter, J. Schroder, R. Wagner. "Phase errors and their influence on the RTOF-Fourier method", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B **103**, 1995, pp.517-522.

Характеристики спектрометра ДИН-2ПИ с нейтронным концентратором

И.В. Калинин¹, В.М. Морозов¹, А.Г. Новиков¹, А.В. Пучков¹, В.В. Савостин¹, В.В. Сударев¹
А.П. Булкин², С.И. Калинин², В.М. Пусенков², В.А.Ульянов²

¹ ГНЦ РФ – Физико-энергетический институт им. А.И. Лейпунского, Обнинск, Россия

² Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия

Спектрометр ДИН-2ПИ зарекомендовал себя как надежный и удобный инструмент, позволяющий проводить широкий круг работ по исследованию структурно-динамических свойств конденсированных сред в широком диапазоне температур. Отличные фоновые условия, обеспечиваемые использованием системы двух вращающихся коллиматоров, сочетаются в нем с разрешающей способностью, находящейся на уровне лучших зарубежных аналогов. Однако, его важнейшим недостатком являлась низкая плотность потока нейтронов на образце, при том, что реактор ИБР-2 является самым интенсивным импульсным источником медленных нейтронов в. Это обстоятельство усугублялось еще и тем, что с точки зрения разрешения наиболее удобной областью энергий нейтронов является область холодных нейтронов (менее 5 мэВ), доля которых в общем спектре тепловых нейтронов в случае замедлителя комнатной температуры составляет лишь малую часть. Причины, объясняющие это обстоятельство, состоят в том, что практически все зарубежные аналоги ДИН-2ПИ оборудованы устройствами, позволяющими увеличить плотность потока холодных нейтронов, используемых в этих приборах, за счет оснащения их холодными нейтронными источниками и зеркальными нейтронводами. Поэтому, период остановки реактора ИБР-2 был использован нами для реконструкции первой пролетной базы спектрометра и установки нейтронного концентратора длиной 12,5 м на основе суперзеркал с $m=2$.

В докладе приводится конструкция нейтронного концентратора, приведены основные характеристики спектрометра, полученные после модернизации первой пролетной базы спектрометра и активной зоны реактора ИБР-2М: интенсивность монохроматических нейтронов на образце, разрешающая способность, отношение эффект/фон. Приводится сравнение полученных характеристик с расчетами методом Монте-Карло.

Оснащение спектрометра ДИН-2ПИ суперзеркальным нейтронным концентратором позволило увеличить плотность потока холодных нейтронов на образце более чем на порядок. Это, в свою очередь, открыло возможности не только существенно сократить время проведения экспериментов и улучшить их статистические характеристики, но и заметным образом (в 2 – 4 раза) уменьшить размеры исследуемых образцов.

Амплитуда рассеяния в задачах многократного малоуглового рассеяния

Ф.С. Джепаров, Д.В. Львов

Институт теоретической и экспериментальной физики, Москва, Россия

Если падающий пучок нейтронов можно представить плоской волной, то результат рассеяния на угол θ полностью описывается амплитудой рассеяния $f(\theta)$ только при выполнении условия Фраунгофера $r \gg ka^2$. Здесь r , k и a – расстояние мишень-детектор, волновой вектор нейтрона и размер мишени соответственно. В реальных экспериментах условие Фраунгофера не выполнено. Кроме этого пучок нейтронов правильнее представлять сферическими волнами, исходящими из источника, удаленного от мишени на расстояние $r_i \sim r$, что также нарушает условия применимости амплитуды $f(\theta)$. Существует мнение, что в действительности достаточно, чтобы измеряемые параметры (в первую очередь характерный размер неоднородностей ρ и их длина корреляции $l_c \geq \rho$) удовлетворяли условию $l_c = L_c$, где $L_c = (r/k)^{1/2}$ – длина когерентности. Это условие, как правило, выполнено в типичных экспериментах.

Ранее мы показали [1], что в опытах с двухкристалльными малоугловыми спектрометрами подобные ограничения не возникают. В данной работе проанализированы источники возникновения вышеуказанных ограничений для стандартных установок малоуглового рассеяния. Выделена информация, которая адекватно представляется амплитудой рассеяния при $l_c = L_c$, и показано, что, при некоторых дополнительных условиях, расчеты на основе использования амплитуды рассеяния могут быть использованы при измерении основных параметров и в области, где $l_c \geq L_c$.

- [1] Ф.С. Джепаров, К.С. Забелин, Д.В. Львов. Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, № 9, 2009, с. 9-17.

Перспективные направления развития методики и техники спин-эхо малоуглового рассеяния нейтронов

Ю.О. Четвериков

Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия

Произведен анализ эффективности существующих спектрометров спин-эхо малоуглового рассеяния нейтронов (СЭМУРН). Получена аналитическая формула, позволяющая рассчитать точность проводимых измерений в зависимости от варьируемых параметров эксперимента. Показано, что для эффективного использования спин-эхо спектрометра в исследовании образцов с малым сечением рассеяния ($\leq 1\%$ рассеянных нейтронов) необходимо добиваться значений начальной поляризации нейтронного пучка P_0 выше 0.95, тогда как на современных СЭМУРН установках $P_0 \leq 0.85$. Выполнен сравнительный анализ эффективности спин-эхо спектрометров со стандартным спектрометром малоуглового рассеяния нейтронов. Продемонстрировано, что эффективность действующих спин-эхо установок может быть выше, чем у стандартного спектрометра. При доле рассеянных нейтронов в 10% такая ситуация реализуется, когда характерный размер исследуемых частиц R_{eff} больше 150 нм. Улучшение характеристик спин-эхо установок позволит снизить этот порог до $R_{eff} = 20$ нм. Дисперсионный анализ корреляционной функции СЭМУРН, анализ параметров магнитного поля и геометрии спин-эхо прибора выявил следующие направления развития методики и техники нейтронного спинового эхо:

- (i) повышение однородности поля, уменьшение протяженности установки вдоль нейтронного пучка позволит повысить эффективность установки на **1-2** порядка;
- (ii) пространственное разрешение установки позволит проводить измерения материалов с пространственно неоднородным распределением структурных элементов;
- (iii) возможность измерения преломления на сверхмалые углы в методе СЭМУРН позволит использовать его в рефракционной нейтронной интроскопии.

Работа поддержана грантом РФФИ (12-02-31242).

Сессия XI: Функциональные материалы

Размерный эффект в нанокристаллическом диоксиде церия

А.Е. Соколов¹, В.А. Трунов¹, Г.П. Копица¹, А.А. Петрунин¹,
В.К. Иванов², А.Е. Баранчиков²

¹ *Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия*

² *УРАН Институт общей и неорганической химии им. Н.С.Курнакова РАН, Москва, Россия*

Нанокристаллический диоксид церия и твердые растворы на его основе являются перспективными материалами, находящими широкое практическое применение в газовых сенсорах, электрохромных покрытиях, твердотопливных элементах, катализаторах, предназначенных для эффективного дожигания выхлопных газов, используются в реакциях селективного окисления, при дегидрогенизации спиртов и т.д. В ряде работ отмечалась возможность использования нанокристаллического CeO_{2-x} в биомедицинских приложениях в качестве эффективного антиоксиданта.

Диоксиду церия в нанокристаллическом состоянии присущи особые функциональные свойства, что в настоящее время принято объяснять в первую очередь зависимостью кислородной нестехиометрии данного соединения от размеров частиц. В рамках данной теории считается, что это связано с частичным удалением атомов кислорода из соответствующих кристаллографических позиций с образованием кислородных вакансий, что сопровождается одновременным уменьшением эффективной степени окисления церия. Согласно результатам различных авторов, критический размер частиц CeO_{2-x} , при котором должен наблюдаться полный переход $\text{Ce(IV)} - \text{Ce(III)}$, составляет 1.1–3 нм, однако полученные результаты крайне противоречивы. В частности, высказывалось предположение, что они могут существенным образом зависеть от химической предыстории образцов и формы частиц.

Таким образом, выявление зависимости кислородной нестехиометрии нанокристаллического диоксида церия от размера его частиц является актуальной задачей, поскольку для целого ряда областей практического применения CeO_{2-x} требуется получение материалов с заданным содержанием кислорода и стабильностью характеристик в течение длительного времени. Для уточнения характеристик нанокристаллического диоксида церия было решено использовать подход, заключающийся в исследовании образцов комплексом современных физико-химических методов анализа, таких, как рентгеновская и нейтронная дифракция, растровая и просвечивающая электронная микроскопия, низкотемпературная адсорбция азота, спектроскопия в УФ-видимой области, термогравиметрический и дифференциально-термический анализ, малоугловое рассеяние нейтронов, анализ химического сдвига. При необходимости исследования проводились, помимо комнатной, при высоких и низких температурах.

Полученные результаты могут указывать на ограниченность существующих представлений о строении и размерном эффекте нанодисперсных структур. Так, данные просвечивающей электронной микроскопии и малоуглового рассеяния нейтронов демонстрируют возможность, даже при температурах, существенно меньших температуры Таммана, реализации механизма ориентированного присоединения и последующего срачивания частиц, а не рекристаллизации частиц по Оствальду. Результаты нейтронной дифрактометрии обнаруживают отсутствие значимой нестехиометрии по кислороду во всем диапазоне размеров, вместе с тем указывая на возможное увеличение тепловой подвижности кислорода при увеличении дисперсности. Исследования химического сдвига не указывают на какие-либо изменения в степени окисления Се.

Работы были проведены при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты 11-02-01103, 11-03-00828).

Задачи геофизики и нейтронные исследования геологических материалов

А.Н. Никитин, Т.И. Иванкина

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

Понимание природы сейсмической анизотропии литосферы Земли предполагает накопление большого количества экспериментальных фактов и применение современных лабораторных методов исследования горных пород. Экспериментальный подход заключался в измерении кристаллографических текстур образцов горных пород с помощью нейтронного текстурного дифрактометра СКАТ, расположенного на канале импульсного реактора ИБР-2 (Дубна, Россия). Модернизация реактора ИБР-2 дала возможность провести работы по оптимизации СКАТа для текстурных измерений сложных геологических материалов. Основанные на количественной информации о текстуре (ФРО) вычисления скоростей упругих волн дают важную информацию о различном вкладе пороодообразующих минералов в объемную упругую анизотропию образцов горных пород, а также подтверждают прямую связь собственной (*intrinsic*) сейсмической анизотропии образца с его структурными элементами и с расщеплением поперечных упругих волн. Помимо кристаллографической текстуры, существенный вклад в наблюдаемую упругую анизотропию могут давать текстура формы зерен минералов, а также зернограницные эффекты и композиционное расслоение образца. В работе помимо нейтронного рассеяния использованы два различных акустических метода измерения скоростей Р- и S-волн при высоких давлениях (на установках в Геологическом институте Чешской АН в Праге и Кильском университете в Германии). Одним из основных результатов, обсуждаемых в докладе, являются данные о природе анизотропии упругих свойств, полученных в экспериментах с модельными образцами, изготовленными из минеральных порошковых наполнителей и связующего послойного эпоксиды. Далее такой подход позволит проводить более точную интерпретацию экспериментальных данных нейтронографического текстурного анализа, например, таких как о связи тонкой структуры и текстуры горных пород с разных глубин с сейсмической анизотропией литосферы Земли.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований № 10-05-00722-а.

Residual stresses induced in titanium-steel and niobium-steel bilayer pipes manufactured by explosive welding: neutron diffraction investigations

Yu.V. Taran, B.M. Sabirov, A.M. Balagurov

Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia

Joining of pipes made of stainless steel (SS) and some other metals (Ti and Nb) still represents a serious technical problem. Recently reliable and hermetic joining of pipes from SS and Ti/Nb has been received by the explosive bonding technique at the Russian Federal Nuclear Center (Sarov). These adapters are supposed to use at the future International Linear Collider with crossed electron–positron beams. The adapters have shown excellent behavior at room and liquid nitrogen and helium temperatures, during high pressure tests and thermal cycling. Here we report about the first neutron diffraction experiments, in which the residual stresses in the SS-Ti and SS-Nb adapters were measured with the POLDI instrument at the SINQ spallation neutron source. The welding of the constituents has been achieved by the external explosion. The strain scanning across the adapter walls was performed to measure the radial distribution of the axial, radial and hoop residual strain components within the cross-sections through the SS-Ti and SS-Nb pipes. Using the known elastic constants the strains were transformed into the residual stresses.

Обзор работ, посвященных исследованиям наноуглеродных материалов дифракционными методами

Ф.М. Шахов

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия

В докладе представлен обзор работ, посвященных исследованиям структуры наноуглеродных материалов с помощью дифракционных методов. Основное внимание уделено детонационным наноалмазам.

Магнитные фазовые переходы в системе соединений $Tb_{1-x}Er_xNi_5$

А.Н. Пирогов

Институт физики металлов УрО РАН, Екатеринбург, Россия

Магнитные свойства случайно-упорядоченных систем и фазовые переходы в них являются объектами многих экспериментальных и теоретических исследований. Среди этих систем наиболее интересными представляются сплавы редкоземельных ионов с 3d-переходными металлами, имеющих конкурирующие взаимодействия. Последние могут приводить к ряду эффектов, таких как скошенные и несоизмеримые магнитные структуры, спин-переориентационные переходы, волны зарядовой и спиновой плотности и т.д. Большое внимание было уделено системам с конкурирующими магнитными анизотропиями: система с анизотропиями типа "легкая ось – легкая ось" (Изинг-Изинг связь) и "легкая ось – легкая плоскость" (Изинг-ХУ связь).

В нашей работе проведено исследование магнитных структур и фазовых переходов в системе соединений $Tb_{1-x}Er_xNi_5$ с помощью дифракции неполяризованных и поляризованных нейтронов на поли- и монокристаллических образцах. Нейтронографические измерения поликристаллических образцов выполнены в Корейском исследовательском институте атомной энергии, Тайжон (Корея) и Нейтронном исследовательском центре, Чок – Ривер (Канада). Измерения на монокристаллических образцах проведены в Гельмгольц Берлин центре исследований материалов и энергии, Берлин (Германия).

Установлено, что система $Tb_{1-x}Er_xNi_5$ образована соединениями с Изинг-ХУ связью, в которых ионы Tb обладают анизотропией типа "легкая плоскость", а ионы Er проявляют легкоосную анизотропию. Рост концентрации эрбия до $x=0.2$ сопровождается магнитным переходом типа несоизмеримая – соизмеримая фазы. Модулированная магнитная структура описывается волновыми векторами $k_1=0$ и $k_2 \approx 2\pi/c(0,0,0.02)$. Охлаждение образцов с $x < 0.2$ приводит к двум магнитным переходам: парамагнетик – несоизмеримая фаза в T_C (~ 20 К) и несоизмеримая фаза – лок-ин структура в T_L (~ 10 К). При низкотемпературном переходе наблюдается сильный рост спин-флип рассеяния нейтронов, тогда как уменьшение нон-спин-флип рассеяния мало. Приложение внешнего магнитного поля ($\mu_0 H_{cr} \sim 4$ кЭ) индуцирует при 2 К переход от лок-ин структуры к состоянию с магнитными моментами ионов Tb, ориентированными вдоль поля. При этом, наблюдается значительный рост интенсивности нон-спин-флип-рассеяния и лишь небольшое увеличение интенсивности спин-флип рассеяния.

Из анализа температурных и полевых зависимостей интенсивностей спин-флип и нон-спин-флип рассеяния сделан вывод, что модулированная и ферромагнитная компоненты полного момента иона Tb должны быть параллельны между собой.

При 3 К поведение интенсивностей ферромагнитных рефлексов и сателлитов в слабых магнитных полях указывает на существование низкополевого метамагнитного перехода. Их интенсивности сохраняются, практически, постоянными с ростом магнитного поля до $\mu_0 H_{met} \sim 0.5$ кЭ и изменяются при дальнейшем увеличении поля.

На основании результатов нейтронографических измерений сделан вывод, что в соединениях $Tb_{1-x}Er_xNi_5$, в которых температура разупорядочения Tb подсистемы выше, чем в эрбиевой подсистеме, происходят два магнитных перехода типа дальний порядок-беспорядок, т.е. с понижением температуры вначале упорядочиваются моменты ионов тербия, а затем – моменты эрбия. В соединениях, в которых имеет место обратное соотношение между температурами разупорядочения Tb- и Er- подсистем, переход происходит одновременно в обеих подсистемах.

Работа частично финансировалась программой «Импульс», код 01.2.006.13394 и проектом РФФИ № 10-02-155.

Измерение остаточных напряжений в толстых (>40мм) стальных деталях методом дифракции нейтронов

В.Т. Эм¹, W.C. Woo², B.S. Seong², P. Mikula³

¹ НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия

² Korea Atomic Energy Research Institute, Daejeon, South Korea

³ Nuclear Physics Institute ASCR, v.v.i., and Research Center Rez Ltd., Rez, Czech Republic

Благодаря тому, что в большинстве материалов нейтроны обладают значительно большей проникающей способностью чем рентгеновские лучи, нейтрон-дифракционный метод широко используется для измерения остаточных напряжений в массивных образцах. Однако возможности метода ограничены, и, даже на современных реакторах, максимальная длина пути нейтронов в материале, l_m , при которой интенсивность дифракционного пика ещё достаточна для измерения, например для стали, равна ~ 60 мм. Это дает возможность измерить напряжения в стальной пластине толщиной ~ 40 мм. В то же время в атомной энергетике и судостроении имеется потребность в измерении остаточных напряжений в более толстых (~ 80 мм) стальных деталях. Поэтому разработка способов измерения напряжений в стальных деталях толщиной более 40 мм является актуальной задачей.

Максимально достижимую длину l_m можно увеличить повысив интенсивность и разрешение прибора. Систематическое исследование фокусирующих в горизонтальной плоскости изогнутых совершенных монокристаллов кремния в качестве монохроматоров показало что для стресс-дифрактометров, где измеряется один пик, такие монохроматоры значительно лучше чем традиционные монохроматоры из мозаичных монокристаллов. Путем подбора оптимального радиуса кривизны кристалла удастся получить максимальную интенсивность и наилучшее разрешение в узком интервале углов рассеяния где находится измеряемый пик. В частности, для обычно используемых в стресс дифрактометрах длин волн, λ , в интервале $\lambda = 1.5 \text{ \AA} - 1.7 \text{ \AA}$, наилучшим является использование монохроматора Si(220) в симметричной геометрии отражения.

Увеличение l_m путём увеличения времени измерения или увеличения рассеивающего объема образца (gauge volume) не очень эффективно, так как интенсивность нейтронов экспоненциально падает с длиной пути. Более эффективным путём может быть использование зависимости сечения нейтронов от длины волны. В сталях (ферритной и аустенитной) основной вклад в полное сечение нейтронов дает упругое когерентное рассеяние. Поэтому кривая зависимости полного сечения нейтронов от длины волны имеет пилообразную форму с минимумами вблизи брэгговских скачков. Эксперименты, проведенные в KAERI, показали, что использование нейтронов с длиной волны λ вблизи минимумов полного сечения нейтронов существенно увеличит длину пути нейтронов l_m . Максимальные значения l_m были получены при длинах волн $\lambda = 2.39 \text{ \AA}$ ($l_m = 83$ мм, ферритная сталь) и $\lambda = 2.19 \text{ \AA}$ ($l_m = 87$ мм, аустенитная сталь), которые значительно больше длин волн ($1.5 \text{ \AA} - 1.7 \text{ \AA}$), обычно используемых в стресс дифрактометрах. Для вывода нейтронов с такими длинными, чем обычно, волнами использовался Si(111) монохроматор.

Максимально возможную для измерения толщину пластины можно дополнительно увеличить используя различные отражения для измерения различных компонент напряжения.

Пользуясь данным методом проведено измерение остаточных напряжений в сварном шве стальной пластины толщиной 70 мм.

Изучение анизотропного уширения дифракционных пиков на RTOF дифрактометре

Г.Д. Бокучава, И.В. Папушкин, В.В. Сумин, А.М. Балагуров

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

С помощью дифракции нейтронов высокого разрешения на Фурье-дифрактометре ФСД в ЛНФ ОИЯИ изучено анизотропное уширение дифракционных пиков, которое часто наблюдается в различных конструкционных материалах (ферритных и аустенитных сталях). Для анализа анизотропии микродеформаций применен модифицированный метод Уильямсона-Холла. Показано, что дифрактометр ФСД обладает достаточно хорошим уровнем разрешения по межплоскостному расстоянию для изучения подобного рода эффектов.

Электрофизические свойства углеродных нанокompозитов на основе нанодIAMAZOB, облученных быстрыми нейтронами

С.К. Гордеев¹, Р.Ф. Коноплева², В.А. Чеканов², С.Б. Корчагина¹, С.П. Беляев²,
И.В. Голосовский², И.А. Денисов³, П.И. Белобров³

¹ ОАО ЦНИИ Материалов, Санкт-Петербург, Россия

² Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия

³ Сибирский федеральный университет, Институт биофизики СО РАН, Красноярск, Россия

Объектом исследования является объемный композиционный материал NDC (NanoDiamondCarbon), основу которого составляют частицы нанодIAMAZOB, а роль связующего играет графитоподобный пироуглерод [1]. Средняя толщина слоя пироуглерода, покрывающего частицы нанодIAMAZOB, не превышает 1 нм. Кроме того, пористость исследуемого материала составляет 50-70 %, а средний размер пор – 10 нм. Таким образом, в NDC сочетаются и взаимосвязаны три типа нанодфрагментов – нанодIAMAZOBы, наноразмерная графитоподобная матрица и поры наноразмеров. Процессы переноса заряда в углеродном композите NDC весьма сложны, поскольку полупроводниковый характер проводимости сочетается с сильной зависимостью проводимости от состава и размера структурных составляющих [1].

Целью настоящей работы явилось исследование влияния облучения быстрыми нейтронами на электрическое сопротивление углеродных нанокompозитов NDC. Исследовали образцы NDC10 и NDC40 с содержанием нанодIAMAZOB 28 %, пироуглерода 5% и 20%, с пористостью 67% и 52%, соответственно. Облучение проводили в вертикальных каналах реактора ВВР-М Петербургского института ядерной физики флюенсами быстрых ($E > 0,5$ МэВ) нейтронов от $5 \cdot 10^{16}$ см⁻² до $5 \cdot 10^{18}$ см⁻².

Установлено, что, в отличие от большинства других полупроводниковых и металлических материалов, электросопротивление композитов NDC немонотонно изменяется с нарастанием флюенса нейтронов. Нарастание сопротивления на начальном участке дозовых зависимостей может сменяться его падением, после чего сопротивление вновь увеличивается. Такая зависимость обсуждается в работе с учетом многофазной наноструктуры NDC, а также роли поверхностных состояний [2] и процессов отслаивания графеновых оболочек от алмазной сердцевины («луковицы») [3].

Анализ температурных зависимостей электросопротивления образцов NDC10 и NDC40 до и после облучения свидетельствует о том, что перенос заряда осуществляется по механизму прыжковой проводимости с показателем степени $-1/4$. Это характерно для прыжковой проводимости с переменной длиной прыжка, в случае так называемой сильной локализации в системах с полупроводниковой проводимостью при наличии локального беспорядка [4].

[1] С.К. Гордеев, Сверхтвердые материалы, № 6, с.60-67 (2002)/

[2] И.М. Лифшиц, С.М. Пекар, УФН, 26 (4), 556 (1955)

[3] П.И. Белобров, *Высокие технологии в промышленности России*, М.: Изд-во «Техномаш», 2003, с. 235-269.

[4] Б.И. Шкловский, А.Л. Эфрос, *Электронные свойства легированных полупроводников*, М.: Наука, 1979, 416 с.

Параллельная молодежная сессия
Сессия XIa: Приборы и методика нейтронного эксперимента

Метод спин-эхо малоуглового рассеяния нейтронов в исследованиях систем с фрактальным распределением неоднородностей субмикронного масштаба

Е.В. Величко¹, Ю.О. Четвериков¹, Л.А. Аксельрод¹, В.Н. Забенкин¹, W.H. Kraan²,
W.G. Bouwman², С.В. Григорьев^{1,3}

¹*Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия*

²*Delft Technical University, Delft, the Netherlands*

³*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия*

В работе показана возможность применения методики спин-эхо малоуглового рассеяния нейтронов (СЭМУРН) для изучения образцов фрактальной природы. В качестве исследуемых образцов были выбраны ксерогели аморфного диоксида циркония, являющиеся поверхностными фракталами, активированный уголь, являющийся объемным фракталом и порошок известняка, не проявляющий фрактальных свойств. Предварительно образцы аттестовали на установках малоуглового рассеяния нейтронов и рентгеновского излучения.

Измерения производились на установках СЭМУРН ПИЯФ и SESANS Дельфтского Технологического Университета. В ходе эксперимента исследовались зависимости поляризации нейтронного пучка от так называемой спин-эхо длины – расстояния между точками образца в прямом пространстве. Величина спин-эхо длины менялась в диапазоне от 30 нм до 20 мкм. При каждом значении спин-эхо длины производилось два измерения поляризации нейтронного пучка: прошедшего через установку без рассеяния на образце и рассеянного образцом. Из отношения поляризации рассеянного пучка к поляризации падающего пучка получали величину приведенной поляризации – амплитуду спин-эхо сигнала.

В эксперименте были проведены измерения образцов одного состава разных толщин. Установлено, что корреляционная функция СЭМУРН не зависит от толщины образца, а многократное рассеяние на образце легко учитывается при анализе полученных данных. С ростом спин-эхо длины амплитуда спин-эхо сигнала выходит на некий уровень насыщения $0 < P_s < 1$.

При обработке результатов эксперимента из уровня насыщения P_s вычислялось полное сечение рассеяния и приведенная поляризация пересчитывалась в корреляционную функцию СЭМУРН. Из аппроксимации корреляционных функций для разных типов образцов определены: тип фрактальной структуры, ее размерность и диапазон масштабов, в котором она существует. Из полученных результатов следует, что методика СЭМУРН является чувствительной техникой исследования объектов фрактальной природы.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 12-02-12066-офи_м и в рамках государственного контракта No. 07.514.12.4003.

Развитие методов синхротронной и нейтронной томографии для изучения палеонтологических и геологических объектов

Е.С. Коваленко¹, А.А. Калоян¹, А.В. Пахневич², К.М. Подурец¹

¹ НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия

² Палеонтологический институт им. А.А. Борисяка РАН, Москва, Россия

В последние годы важным методом неразрушающей диагностики для изучения внутреннего строения минеральных объектов различного происхождения стала рентгеновская томография и микротомография. При этом для биологических и геологических объектов были установлены определенные ограничения метода, связанные, во-первых, с недостаточным контрастом, так как в составе подобных объектов часто содержатся минералы близкие по рентгеновской плотности, а во-вторых, с размерами и толщиной объектов из-за недостаточной глубины проникновения рентгеновского излучения. Поэтому в рамках представленной работы исследовались новые возможности для изучения минеральных объектов, связанные с применением синхротронного и нейтронного излучения. Синхротронное излучение позволяет использовать фазовые механизмы формирования контраста, а нейтроны имеют другую природу взаимодействия с веществом по сравнению с рентгеновскими лучами и большую проникающую способность. Взаимодополняющее применение различных видов излучения позволяет повысить результативность томографического исследования минеральных объектов.

Эксперименты проводились в Курчатовском институте на источнике синхротронного излучения и на реакторе ИР-8 на минеральных объектах различного происхождения (биоминералах, геологических, палеонтологических) с использованием комплекса методов нейтронной и синхротронной интроскопии, а также дополнительных методов. На реакторе ИР-8 созданы прототипы установок и проведена серия модельных экспериментов по нейтронной радиографии и томографии, демонстрирующих возможности нейтронного излучения для изучения минеральных объектов (окаменелостей, кернов горных пород, метеоритного вещества и т.п.).

На станции «Медиана» Курчатовского источника синхротронного излучения проведены первые эксперименты по томографии с применением рефракционного фазоконтрастного метода, а также разработан программный комплекс для реконструктивной томографии. Были исследованы образцы ископаемых беспозвоночных (*Rhipidocystis sp.*, *Brachiopoda sp.*, Crinoidea и т.п.), природных алмазов, патогенных биоминералов человека (желчные и почечные камни). Показано, что применение данной методики позволяет существенно повысить контрастность изображений и, соответственно, томографической реконструкции. Работа проводилась при поддержке федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2012 годы» по теме «Исследование живых систем на уникальных установках “Курчатовский источник синхротронного излучения” и “Исследовательский реактор ИР-8”» (шифр заявки «2011-1.8-518-004-219») и гранта РФФИ «Развитие методов медицинской диагностики с использованием синхротронного и нейтронного излучения» (номер проекта 11-02-12155-офи-м-2011).

Результаты испытаний нейтронного рефлектометра-малоуглового дифрактометра на импульсном источнике ИН-06 ИЯИ РАН

В.С. Литвин

Институт ядерных исследований РАН, Москва, Россия

На импульсном источнике нейтронов ИН-06 ИЯИ РАН сооружен нейтронный рефлектометр с малоугловой опцией "Горизонт". Установка предназначена для измерений по методу времени пролета. Благодаря вертикальной плоскости рассеяния, возможны исследования жидких образцов. Представлены результаты моделирования и испытаний установки на пучке нейтронов. Получены спектры и профили пучка нейтронов.

Эксперименты по радиографии на нейтронных пучках реактора ИБР-2

Е.В. Лукин, С.Е. Кичанов, Д.П. Козленко, А.В. Белушкин, Б.Н. Савенко, Г.Д. Бокучава

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

Одним из перспективных методов исследования для прикладной физики является метод нейтронной радиографии. Этот метод служит для получения нейтронных изображений различных объектов как технологического, так и научного назначения. Метод нейтронной радиографии успешно реализован и используется в таких крупных зарубежных и российских научных центрах, как PSI (Швейцария), RAL (Великобритания) и РНЦ «Курчатовский институт». Параметры реактора ИБР-2М во многом превосходят нейтронные источники вышеупомянутых научных центров, но эта прикладная методика пока не реализована на нашем источнике.

В прошлом году успешно проведены эксперименты на 12-ом канале реактора ИБР-2М с камерой для нейтронной радиографии. Эта камера состоит из экрана-сцинтиллятора, поворотного зеркала и высокочувствительной видеокамеры на основе CCD матрицы.

Приводятся нейтронные изображения объектов технологического назначения, полученные с помощью этой камеры: подшипников, свечей зажигания, жестких дисков, биметаллических соединений, сварных швов и т.п. Проанализирована зависимость разрешающей способности камеры для радиографии от расположения исследуемого объекта.

Работа выполнена при поддержке контракта МАГАТЭ №17217 и госконтрактов №02.740.11.0542 и №16.518.11.7029 в рамках Федеральных целевых программ «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2012 годы» и «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 годы».

Развитие метода нейтронного спин-эха с использованием вращающихся магнитных полей

А.Б. Рубцов¹, В.И. Боднарчук^{1,2}, С.А. Маношин¹, А. Ioffe³, S. Mattauch³

¹ Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

² НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия

³ Jülich Centre for Neutron Science Garching, Germany

Метод получения спин-эхо эффекта, основанный на использовании вращающихся магнитных полей (ВМП) был изложен в работе [1]. Ключевым элементом спин-эхо установки, в которой спин-эхо эффект получается таким методом, является устройство создающее ВМП. Один из способов получения магнитного поля требуемой конфигурации был реализован в работе [2], однако результаты эксперимента показывают, что диапазон рабочих частот ВМП в этом случае ограничен (~ 10 кГц).

В данной работе исследовалось одно плечо спин-эхо установки, представленное двумя элементами с ВМП. ВМП создавалось парой вложенных одна в другую катушек, так что создаваемые ими поля были ортогональны друг другу в плоскости перпендикулярной направлению распространения нейтронов. В катушки подавался смещенный по фазе на $\pi/2$ синусоидальный ток.

Симуляция эксперимента проводилась в программе VITESS. До недавнего времени в ней магнитные поля задавались ограниченным числом параметров, что снижало точность результатов симуляций. Нами был разработан новый модуль программы, позволяющий загружать распределение магнитного поля из внешнего источника (измеренное или смоделированное поле), что позволило учитывать краевые эффекты и рассеянные поля. Магнитное поле было смоделировано в программе MagNet. Совместное использование двух программных пакетов позволило значительно улучшить точность симуляций.

В результате нами были выявлены основные факторы, вызывающие деполяризацию пучка: рассеянные поля, соотношение толщины обмотки к характерному размеру поля вдоль направления распространения нейтронов, эллиптичность поля, а так же оценены перспективы применения данного метода.

[1] A. Ioffe Physica B, 335 (2003), p. 169

[2] Bodnarchuk V.I., Kraan W.H., Rekveldt M.T., Ioffe A., Neutron spin turners with a rotating magnetic field: first experiments. Meas. Sci. Technol, 2008, v.19, p 03401.

Система регистрации для нейтронографических экспериментов по методу пролета на импульсных источниках нейтронов ИЯИ РАН

Д.Н. Трунов

Институт ядерных исследований РАН, Москва, Россия

Импульсные источники нейтронов, работа которых основана на ядерных реакциях скалывания, являются на сегодняшний день наиболее перспективным видом источников для нейтронографических экспериментов, как по плотности потока нейтронов, так и с точки зрения экологической безопасности. На импульсных источниках нейтронов главным образом применяется метод времени пролета как наиболее эффективный.

В данной работе описана разработанная система сбора данных, которая включает в себя:

- - усилитель-формирователь с подавлением медленной компоненты сигнала;
- - генератор временных ворот и время-цифровой преобразователь;
- - компьютер-контролер для крейта “САМАС”;
- - драйвер “САМАС” на уровне ядра;
- - универсальное программное обеспечение для сбора данных в системе Linux.

Сигналы от детекторов нейтронов, наполненных гелием-3 поступают на усилители-формирователи с привязкой выходного импульса к быстрой электронной компоненте лавины. Время-цифровой преобразователь с общим стартом и восемью стопами под управлением генератора ворот формирует спектры в собственной памяти, которые передаются через контроллер КАМАК и контроллер ветви в компьютер. Система позволяет измерять спектры времени пролета нейтронов в широком диапазоне от 1 мкс до 65 мс. Регулирование задержек сигналов в широком диапазоне времен от 1 мкс до 65 мс позволяет настраивать систему для широкого круга задач. Спектр состоит из 4096 временных окон с шириной от 0.125 до 128 мкс. Специализированный драйвер КАМАК для 32-разрядного контроллера ветви загружается в ядро и запускается во время загрузки ОС Linux. В программе накопления данных, разработанной на основе кроссплатформенной библиотеки Qt4, реализована процедура распознавания и тестирования установленных в крейт модулей, которая автоматически встраивает их в систему сбора данных. Запуск нескольких экземпляров программы может использоваться для детального просмотра накопленных спектров.

Во время сеанса на источнике ИН-06 ИЯИ РАН система регистрации была успешно испытана на установках “МНС”, “Геркулес”, “Горизонт”. Были получены времяпролетные спектры прямого пучка и дифрактограммы на различных поликристаллических образцах. Измерения проводились при частоте повторения импульсов от 1 до 50 Гц.

[1] Е.А. Koptelov, Yu.V. Ryabov, A.A. Alekseev, J. Phys.: Conf. Ser. 291.

Измерение профилей некоторых пучков ИБР-2М

А.В. Чураков

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

Были проведены измерения профилей и некоторых других параметров пучков № 2, 4, 6а, 6б, 9, 11, 12 реактора ИБР-2М. На всех пучках измерения проводились с помощью прострельного монитора с чувствительной областью 100х100 мм. [1] Монитор имеет крайне низкую эффективность к тепловым нейтронам, что позволяет использовать его в прямом пучке без перегрузки. Так как размер чувствительной области монитора не позволял перекрыть весь пучок, то на пучке № 2 профиль получался в ходе 4 измерений с последующей сшивкой результатов. Для каждого пучка были измерены средняя интенсивность, координатное и временное распределения нейтронных потоков. Ниже представлены некоторые из полученных координатных распределений.

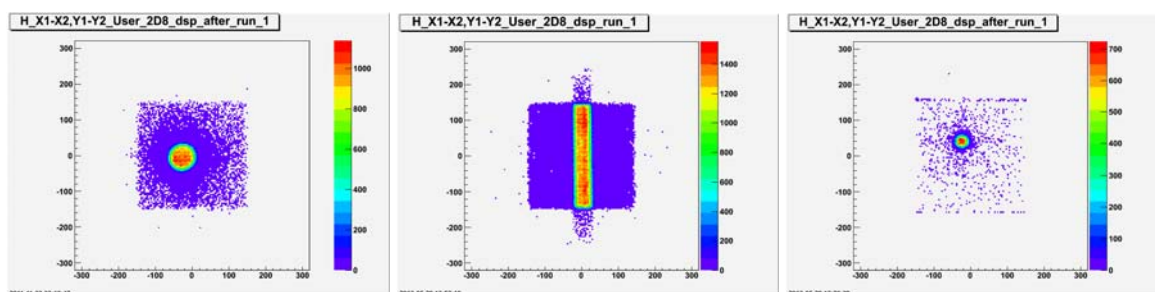


Рис. 1. Профили пучков №4, 6а (на срезе нейтронвода), 6б (слева направо).

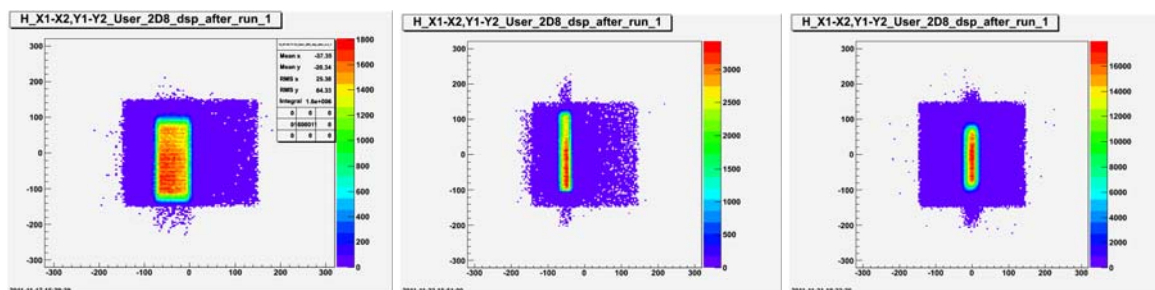


Рис. 2. Профили пучков №9, 11, 12 (слева направо).

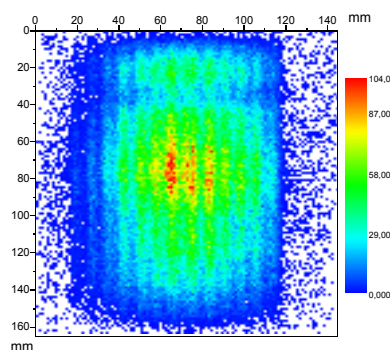


Рис.3. Профиль пучка №2.

[1] А.В. Белушкин, А.А. Богдзель, В.В. Журавлев и др., Журнал Технической Физики, 121-125, 1 (2008).

Дифрактометр для исследований переходных процессов в реальном времени на реакторе ИБР-2М

А.М. Балагуров¹, А.И. Бескровный¹, В.В. Журавлев¹, А.П. Булкин², Г.М. Миронова¹,
С.Г. Шеверев¹

¹ Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

² Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия

В сентябре 2012 года предполагается получить первые результаты измерений на конструируемом в настоящий момент дифрактометре для исследований переходных процессов в реальном времени (РТД). Дифрактометр создается на базе установки ДН-2 на канале 6А реактора ИБР-2М, уже неоднократно использовавшейся для проведения real-time-экспериментов.

Характерная для позиции данного канала относительно активной зоны реактора высокая светосила (полный поток на образце составлял $\sim 10^7$ н/см²/с) увеличена благодаря новой нейтронотводной системе. Прежний набор детекторов дополнен и включает в себя кольцевой детектор на больших углах, группу точечных детекторов на малых углах и 2d позиционно-чувствительный детектор на поворотном плече с ограничением хода 0 – 145 °. Размещением детекторов на углах рассеяния 10°, 30° и 160° обеспечен широкий диапазон d_{hkl} дифрактометра (0.5 – 60) Å.

При использовании рабочего диапазона длин волн (1 – 10) Å разрешение дифрактометра $\Delta d/d$ будет меняться в интервале от 0.03 до 0.005, чего вполне достаточно для исследований большого класса переходных процессов, таких, как химические реакции в твердой фазе, процессы обмена в липидных мультислоях, изотопный обмен в веществе и многие другие.

Реализована регистрация экспериментальных данных в режиме list-mode – последовательная регистрация всех событий в виде слов с кодированной информацией обо всех существенных переменных (времени, номере детектора, значении внешнего параметра).

Как показали модельные эксперименты на ДН-2, на ИБР-2 в некоторых случаях необходимую статистику можно набрать от одного импульса мощности. РТ-эксперименты, проведенные непосредственно перед остановкой ИБР-2 на реконструкцию, выполнялись в режиме непрерывной записи TOF-спектров, измеряемых несколькими детекторами от каждого импульса мощности реактора [1]. Всего за несколько суток измерений было зарегистрировано более 20 миллионов спектров. Такое сочетание продолжительных непрерывных измерений с регистрацией спектров от каждого импульса мощности дает уникальную возможность изучения образцов, в которых длительные малозаметные изменения параметров состояния (структуры и микроструктуры) чередуются с быстрыми спорадическими всплесками.

РТ-дифрактометр будет включен в программу пользователей по стандартной схеме, а именно, 55% времени будет отведено для работы по принятым предложениям на эксперимент, 35% будет выделяться сотрудникам ЛНФ и 10% оставляться в резерве для проведения методических работ и выполнения срочных экспериментов.

[1] С.А. Кутузов, А.А. Богдзель, Д.А. Балагуров, Г.М. Миронова “Система непрерывной записи потока данных на пучке импульсного реактора ИБР-2 при регистрации спектров от каждого импульса мощности” Сообщение ОИЯИ, Р13-2009-140, Дубна, 2009.

Взаимодействие аморфного фуллерита C_{60} с железом при спекании

М.С. Блантер^{1,2}, М.С. Болдин³, П.А. Борисова²,
В.П. Глазков², Д.Н. Котков³, В.А. Соменков²

¹Московский государственный университет приборостроения и информатики, Москва, Россия

²НИИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия

³НИФТИ Нижегородского государственного университета, Нижний Новгород, Россия

Методами дифракции нейтронов и рентгеновских лучей и дифференциального термического анализа исследовано взаимодействие аморфного фуллерита C_{60} с железом в ходе компактирования композита Fe-аморфный фуллерит. Образцы аморфного фуллерита были получены механической активацией. Компактирование композитов проводили методом электроимпульсного плазменного спекания под давлением 70 МПа в температурном интервале 1000-1200⁰С. Концентрация железа составляла 5, 50 и 95 ат.%.

Для сравнения при максимальной концентрации Fe были исследованы также композиты с кристаллическим фуллеритом и кристаллическим графитом.

Малые концентрации Fe (5 ат.%) не повлияли на структуру углеродной фазы, но железо само превратилось в основном в цементит. При высоких концентрациях Fe (50 or 95 ат.%) возникла неравновесная структура, состоящая преимущественно из феррита и аустенита, сохраняющаяся после охлаждения до комнатной температуры. Аустенит, судя по его периодам решетки, содержит около 1 масс.% С и оказывается аномально устойчивым по сравнению с остаточным аустенитом в углеродистой стали. Аустенита заметно больше в композите с 50 ат.% Fe, чем с 95 ат.%. Охлаждение в жидком азоте приводит к исчезновению линий аустенита на дифрактограммах.

Подобные неравновесные феррито-аустенитные структуры были также обнаружены в стали ЭП-450 при ее взаимодействии с фуллеритом и многослойными углеродными нанотрубками в ходе прессования при 1000⁰С. Причины появления заметных количеств относительно стабильного аустенита без закалки при взаимодействии железа и стали с углеродными фазами пока не ясны.

Работа была поддержана РФФИ по гранту No. 10-2-00176 и Госконтракту № 16.552.11.7003.

Исследование пленок инвертированных опалоподобных структур на основе кобальта и никеля методом ультра малоуглового рассеяния синхротронного излучения

А.В. Чумакова¹, А.А. Мистонов², Н.А. Григорьева², К.С. Напольский³,
Н.А. Саполетова³, W. Bouwman⁴, С.В. Григорьев^{1,2}

¹ Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия

² Санкт-Петербургский Государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

³ Московский государственный университет, Москва, Россия

⁴ Delft Technical University, Delft

В работе исследована зависимость параметра корреляции слоистой упаковки от количества слоев пленки инвертированных опалоподобных структур (ИОПС). Сканирование обратного пространства образца проводили в диапазоне углов $-70^\circ \leq \omega \leq 70^\circ$ с шагом 1° методом ультра-малоуглового рассеяния синхротронного излучения.

Пленки ИОПС были получены в два этапа. На первом этапе методом вертикального осаждения из коллоидного раствора полистирольных микросфер диаметром 500 ± 20 нм была получена исходная матрица [1]. На втором этапе поры матрицы были заполнены никелем или кобальтом методом электрохимического осаждения, с последующим растворением полистирольной матрицы. Таким образом, были получены пленочные образцы, представляющие собой металлический каркас взаимосвязанных квазитетраэдрических и квазиоктаэдрических элементов на основе никеля толщиной 4, 7, 17 и 26 слоев и кобальта - 3, 8 и 11 слоев сферических пор матрицы.

Кристаллическую пленку ИОПС рассматривают как последовательность слоев, состоящих из гексагональных плотноупакованных сферических пор, уложенных на подложку с периодом

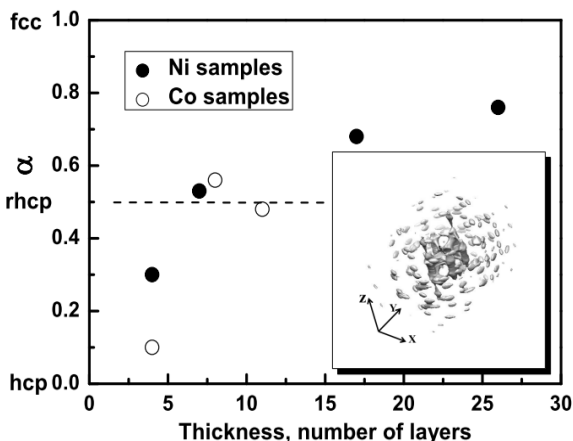


Рис. 1 Зависимость параметра корреляции слоистой упаковки α от количества слоев. На вставке – реконструкция обратного пространства ИОПС.

ГЦК структуры. На вставке рисунка представлена реконструкция обратного пространства ИОПС на основе никеля с 26 слоями пор. Установлено, что число нарушений последовательности укладки слоев в направлении $[111]$, совпадающем с нормалью к подложке больше, чем для других направлений семейства $\langle 111 \rangle$. Можно предположить, что это связано с тем фактом, что на ось $[111]$, ориентированной по нормали к пленке, приходится наименьшее количество слоёв пор по сравнению с другими осями этого семейства $\langle 111 \rangle$, вдоль которых количество слоев в $(1/\cos 70^\circ)$ больше, чем вдоль $[111]$.

Работа поддержана грантами РФФИ (12-02-31143, 10-02-00634-а) и в рамках государственного контракта No. 07.514.12.4003.

[1] K.S. Napolskii et. al., J. Langmuir.-2010.-Vol.26(4).-Pp.2346-2351.

[2] A.J.C. Wilson. Acta Crystallographica.-1949.-Vol.2, №5-Pp. 318-321.

Silicone rubber based magnetoreological elastomers. Synchrotron USAXS, MFM, physico-mechanical properties investigations and applications

M. Balasoiu^{1,2}, A. Vorobiev³, T. Narayanan³, M. Fernandez³, E.A. Iacobescu⁴,
I. Bica⁵, H.J. Choi⁶, Yu.L. Raikher⁷

¹*Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia*

²*Horia Hulubei National Institute of Physics and Nuclear Engineering, Bucharest, Romania*

³*European Synchrotron Radiation Facility, Grenoble, France*

⁴*University of Craiova, Department of Physics, Craiova, Romania*

⁵*West University of Timisoara, Department of Electricity and Magnetism, Timisoara, Romania*

⁶*Department of Polymer Science and Engineering, Inha University, Incheon, South Korea*

⁷*Institute of Continuum Media Mechanics, Ural Branch of RAS, Perm, Russia*

Magnetorheological elastomers (MREs), one type of so called “smart materials”, are generally obtained from an elastic matrix (e.g. natural rubber, silicone rubber, etc.) in which magnetic microparticles are randomly dispersed (isotropic MRE) or aligned (anisotropic MRE) when prepared under an applied magnetic field [1-3].

Mechanical characteristics (tension and deformation, viscoelastic properties), magnetostrictive effects of MREs can be continuously and reversibly modified in a few milliseconds with or without an applied magnetic field. These properties make MREs useful for various applications, including electric current passive and active elements, adaptive tuned vibration absorbers, resonator absorbers, seismic protection, etc. [4].

Anisotropic samples of MREs composed from silicone rubber matrix and iron carbonyl microparticles were examined as dielectric “smart materials” for electric capacitors. It was found that their microstructure and properties are sensitive to the microparticle concentration and strength of the applied magnetic field.

In the present study are investigated the microstructure in volume and the surface magnetic and elastic properties of isotropic and anisotropic MREs similar samples, by means of magnetic force microscopy (MFM), Nanoindentation mode [5] and synchrotron ultra small angle X-ray scattering (USAXS). The results are analyzed and correlated with the dielectric properties of the samples earlier reported.

[1] Raikher Yu. L., Stolbov O. V. 2008 J. Phys.: Condens. Matter 20(20) 204126.

[2] Melenev P., Raikher Yu., Stepanov G., Rusakov V., Polygalova L. 2011 J. Intel. Mater. Syst. Struct. 22 531.

[3] I. Bica, Y.D. Liu, H.J. Choi, Colloid Polym Sci (2012) Doi: 10.1007/s00396-012-2627-9.

[4] Ref. to [3].

[5] G.E. Iacobescu, M. Balasoiu, I. Bica, JINR Preprint E14-2012-54.

Study of magnetization reversal in laterally patterned thin films via AC-Polarized neutron reflectometry

D.Wl. Gorkov

Ruhr University Bochum, Bochum, Germany

Switching times and mechanisms of magnetization reversal in micro- and nanostructures become nowadays on the great interest for scientific society. In comparison with common methods of remagnetization study as SQUID magnetometry, MOKE etc. the PNR act as a unique and powerful technique. Specular reflectivity provide us not just with the magnetization depth resolved profile, but also give possibility to distinguish between possible magnetization reversal such as domain wall (DW) nucleation and annihilation, DW propagation, coherent magnetization rotation etc. Additional information about lateral domain size can be obtained from off-specular scattering collected simultaneously with specular one using position sensitive detector. In order to study AC magnetic susceptibility of magnetic thin films, magnetic heterostructures and patterned samples on the time scale up to 0.5 musec and in AC-Field amplitude up to 120 Oe a new AC-PNR option was recently implemented on SuperADAM reflectometer in ILL, France[1, 2]. The experimental results of the pilot experiments on Py thin films laterally structured into 9 μ m broad stripes will be presented. The domain kinetics under AC fields up to 160 kHz will be discussed.

- [1] S. Klimko, K. Zhernenkov, B.P. Toperverg and H. Zabel, Rev. Sci. Inst. 81, 103303 (2010).
- [2] K. Zhernenkov, S. Klimko, B.P. Toperverg, H. Zabel, Journal of Phys., Conference Series 211, 012016 (2010).

The investigations of low frequency oscillation spectra in selected charge transfer molecular complexes and their compounds by inelastic neutron spectroscopy

A. Pawluko^{1,2}, G. Bator³, L. Sobczyk³

¹*Institute of Nuclear Chemistry and Technology, Warszawa, Poland*

²*Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia*

³*Wroclaw University, Wroclaw, Poland*

The charge transfer complexes were intensively studied in 60-70 years last century. Because their donor-acceptor interactions main studies were focused in ionization potential of donors and electron affinity of acceptors investigations. In the cycle of works [1-7] structural and dynamical properties of CT complexes were studied by use of X-ray, IR, Raman, INS, QNS and back scattering spectroscopy methods and DFT calculation for isolated molecule and solid state models. Dynamical properties, in particular in the low frequency range, of charge transfer (CT) complexes, in which the molecules of tetracyanoquinodimethane, tetracyanoethylene, 2,5-dihydroxy-3,6-dichloro-1,4-benzoquinone and 2,3,5,6-tetracyanobenzene act as electron acceptors, and the molecules of hexamethylbenzene, tetramethylpyrazine and dimethylpyrazines – as electron donors are presented. Crystallographic investigations show that the donor and acceptor molecules form either CT complexes or complexes with strong O-H...N hydrogen bond. The vibrational spectra recorded by using INS, Raman and IR techniques aided by density functional theory calculations for the isolated molecules and the crystalline state enabled all torsional modes, ascribed to the methyl groups, to be analyzed. It was found that the behaviour of methyl groups can be a sensitive indicator of CT interactions and it may be observed by evolution of methyl groups torsion modes by using the INS techniques.

- [1] W. Sawka-Dobrowolska, G. Bator, L. Sobczyk, E. Grech, J. Nowicka –Scheibe and A. Pawluko¹, *Struct. Chem.* **16** (2005) 281-286.
- [2] J. Krawczyk, J. Mayer, I. Natkaniec, M. Nowina-Konopka, A. Pawluko¹, O. Steinsvoll, J.A. Janik, *Physica B* **362** (2005) 271-277.
- [3] M. Prager, A. Pawluko¹, L. Sobczyk, E. Grech, H. Grimm, *J. Phys.: Condens. Matter.* **17** (2005) 5725-5739.
- [4] W. Sawka-Dobrowolska, G. Bator, L. Sobczyk, A. Pawluko¹, H. Ptasiewicz-Bąk, H. Rundlöf, J. Krawczyk, M. Nowina-Konopka, P. Jagielski, J. Janik, M. Prager, O. Steinsvoll, E. Grech, J. Nowicka-Scheibe, *J. Chem. Phys.*, **123** (2005) 124305.
- [5] A. Pawluko¹, W. Sawka-Dobrowolska, G. Bator, L. Sobczyk, E. Grech, J. Nowicka-Scheibe, *Chem. Phys.* **327** (2006) 311-318.
- [6] A. Pawluko¹, L. Sobczyk, M. Prager, G. Bator, E. Grech, J. Nowicka-Scheibe, *J. Mol. Struct.*, **892** (2008) 261-267.
- [7] A. Pawluko¹, W. Sawka-Dobrowolska, G. Bator, L. Sobczyk, E. Grech, J. Nowicka-Scheibe, *Chem. Phys.* **380** (2011) 34-39.

Neutron Spherical Waves Propagation through a Vibrating Thick Ge Single Crystal

E. Raitman¹, V. Gavrilov¹, D. Mjasischev¹, A. Hoser², O. Seidel² and J. Stanh³

¹*Institute of Physical Energetics, Riga, Latvia*

²*Helmholtz-Zentrum, BENSC, Berlin, Germany*

³*Paul Sherer Institute, Villigen, Switzerland*

Experimental results of the research into the ultrasonic wave distortions or the dynamic strain effects at the neutron wave propagation are presented. The neutron intensity profiles for the case of Laue diffraction inside the Bormann fan (i. e. taking as a pattern the neutrons intensities distribution at the exit surface of crystal for a thick Ge crystal) were measured. The results are discussed using the theory of neutron plane- and spherical-wave propagation in a perfect crystal excited by ultrasound. It is evident that, spherical-wave propagation is the best approximation to an experiment.. The investigation into the sound field in such a crystal has shown that the transversal standing waves fill the whole crystal uniformly enough, thus creating appropriate conditions for observation of the interference effects in the spatial diffraction intensity distribution at low ultrasound amplitudes. As such effects take place, the sizes of ultrasound fringes are by an order of magnitude greater than in the absence of ultrasound. This makes it possible to use – as distinguished from the classical Shull's experiments – wide analyzing slits (or PSD). At high ultrasound amplitudes (up to the sound distortions of an order of $\sim 10^{-5}$) no transition to the kinematic scattering has been observed, obviously due to the newly created by ultrasound periodical ($\sim 100\mu\text{m}$) spatial potential in a perfect crystal, which determines the specifics of dynamic scattering of neutrons propagating through the crystal at different ultrasound wave amplitudes. It is also shown that strong ultrasound causes appearance of an intense narrow neutron beam at the center of a Bormann fan. This new effect (that, in particular, could be used for creation of ultrasound-controlled monochromators) calls for additional investigations.

Unexpected ferroelectric properties in diammonium hipodiphosphate songle crystal

Szklarz Przemyslaw

Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia

In this contribution I will present the novel ferroelectric single crystal – diammonium hipodiphosphate studied by dielectric, x-ray and neutron diffraction methods. On the basis of presented results the model of paraelectric – ferroelectric phase transition will be propose.

**Аномальная дисперсия акустических фононов
и критическая динамика центральной моды вблизи фазового перехода
в антисегнетоэлектрике цирконате свинца**

Д.А. Андроникова¹, Р.Г. Бурковский¹, А.В. Филимонов¹, А.П. Шаганов¹,
Д.Ю. Чернышов², А.А. Босак³, А.К. Таганцев⁴, С.Б. Вахрушев⁵

¹ Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, Санкт-Петербург, Россия

² SBNL at The European Synchrotron Radiation Facility, Гренобль

³ The European Synchrotron Radiation Facility, Гренобль

⁴ Ecole Polytechnique Federale de Lausanne, Лозанна

⁵ Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия

Цирконат свинца (PbZrO_3) - один из наиболее широко исследованных антисегнетоэлектриков, отчасти так как является основой твердых растворов цирконата-титаната свинца. Антисегнетоэлектрический переход осуществляется при $T=508$ К, ниже которой структура орторомбическая, а выше – высокосимметричная кубическая фаза.

Вблизи фазового перехода наблюдается аномалия диэлектрической проницаемости с резким пиком при температуре перехода. Такое поведение проницаемости указывает на существование конденсации мягкой сегнетоэлектрической моды. В работах [1, 2] при помощи инфракрасной спектроскопии была исследована низкочастотная динамика решетки в центре зоны Бриллюэна, обнаружен сильный вклад низкоэнергетической центральной моды в диэлектрическую проницаемость. Для более детального выяснения характера критической динамики цирконата свинца вблизи фазового перехода нами была исследована динамическая восприимчивость системы также и на конечных волновых векторах при помощи неупругого рассеяния рентгеновского излучения.

Спектры рассеяния, снятые на линии BL35XU синхротронного источника SPING-8, демонстрируют аномальную анизотропию дисперсии поперечных акустических фононов. Уникально низкая частота (порядка 2 мэВ) наблюдается практически во всей зоне Бриллюэна для направлений $\{1\ 1\ 0\}$ с поляризацией ионных смещений вдоль соответствующих направлений $\{1\ -1\ 0\}$. Основой нашей интерпретации является идея о сильном межмодовом взаимодействии данных акустических возбуждений с центральной модой, которая также наблюдается нами при конечных волновых векторах. На основе такого предположения нам удастся количественно смоделировать неупругие спектры.

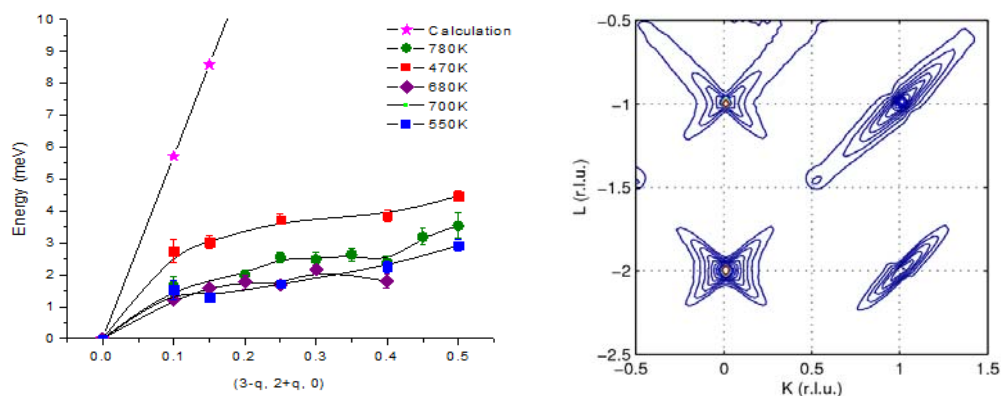


Рис. 1. (Слева) Дисперсионные кривые для ТА фонона при различных температурах и (справа) срез обратного пространства кристалла.

[1] T. Ostapchuk, J. Petzelt, V. Zelezny, et al., Condensed Matters 13, 2677 (2003).

[2] K. Roledery, M. Maglionez, M.D. Fontanx and J. Decy, Condens. Matter 8, 10669 (1996).

Дифракция нейтронов и электрохимия: status quo

А.М. Балагуров

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

Высокая эффективность рассеяния нейтронов при изучении структуры материалов, применяемых в источниках электрического тока, и процессов, в них происходящих, обусловлена хорошо известными особенностями взаимодействия медленных нейтронов с веществом: высокой чувствительностью к легким элементам, способностью различать элементы с близкими атомными номерами, большим сечением магнитного взаимодействия и высокой проникающей способностью. Именно легкие элементы (водород, литий, углерод, кислород) обязательны для функционирования электрохимических источников тока и знание их положения в структуре необходимо для понимания редокс-процессов. Материалы катодов содержат, как правило, несколько катионов с близкими атомными номерами (например, $\text{Li}_{1.2}\text{Mn}_{0.4}\text{Ni}_{0.3}\text{Co}_{0.1}\text{O}_2$) и их размещение по кристаллографическим позициям можно выполнить только с помощью дифракции нейтронов. Магнетизм Mn, Ni и Co во многом определяет макроскопические свойства их оксидов, и рассеяние нейтронов позволяет выявить их корреляции с магнитной структурой. Наконец, высокая проникающая способность нейтронов дает возможность сравнительно простой организации *in situ* экспериментов с модельными электрохимическими ячейками и реальными источниками тока.

В докладе рассмотрены некоторые направления применения дифракции нейтронов в электрохимии, а именно:

- ~ структура новых материалов для источников тока (*ex situ*),
- ~ структурные процессы в электродных материалах,
- ~ структурные процессы в электродах в ходе редокс-процессов (*in situ*),
- ~ структурные процессы в электродах в реальных устройствах *in situ*,
- ~ процессы деградации структуры материалов реальных устройств.

Кроме того, рассмотрены конструкция и основные параметры специализированного светосильного дифрактометра (RTD – Real Time Diffractometer), предназначенного для проведения *in situ* экспериментов в реальном времени, создание которого началось на реакторе ИБР-2 [1]. Зачастую только постановка эксперимента с непрерывной регистрацией информации о процессе позволяет получить необходимые для интерпретации событий данные. Минутный, а для некоторых типов переходных процессов секундный, диапазон измерения дифракционных и малоугловых спектров уже был достигнут на ИБР-2 [2]. Оценки показывают, что RTD позволит добиться значительного улучшения временного разрешения при уменьшенной массе материала.

[1] А.М. Балагуров, А.И. Бескровный, В.В. Журавлев, Г.М. Миронова “Дифрактометр для исследований переходных процессов в реальном времени на реакторе ИБР-2М” Сообщение ОИЯИ, P13-2010-116, Дубна, 2010.

[2] А.М. Balagurov, G.M. Mironova “Phase transformations in materials studied by TOF neutron thermo-diffractometry” Materials Science Forum, 1993, v.133-136, pp.397-402.

Надатомная структура образцов сталей ЧС-139 и ЭК-181, облученных быстрыми нейтронами

С.Г. Богданов¹, Б.Н. Гощицкий¹, В.Д. Пархоменко¹, В.М. Чернов²

¹ Институт физики металлов УрО РАН, Екатеринбург, Россия

² ОАО «ВНИИНМ» им. А.А. Бочвара, Москва, Россия

Энергетическое будущее нашей цивилизации многие специалисты связывают с развитием ядерной и термоядерной отрасли. Что касается ядерной энергетики, то приоритетным считается создание нового поколения быстрых реакторов с замкнутым топливным циклом. Такой подход позволит почти в 100 раз повысить эффективность использования естественного урана и, тем самым, снять ограничения на развитие атомной энергетики со стороны природных ресурсов ядерного топлива. Экономическая целесообразность диктует необходимость создания аппаратов, позволяющих увеличить длительность кампании основного массива тепловыделяющих сборок и повысить выгорание топлива до 15-20%. Это, в свою очередь, требует разработки и создания новых конструкционных материалов с максимальной повреждающей дозой до 150-200 сна.

Перспективными материалами оболочек твэлов являются малоактивируемые 12%-ные хромистые ферритно-мартенситные стали ЭК-181 (16Х12В2ФТаР) и ЧС-139 (20Х12НМВБФАР), обладающие повышенной жаропрочностью. Мартенситная фаза в них стабилизирована наноразмерными кластерами, обогащенными разными элементами, что достигается применением специальных термообработок. Эти стали характеризуются высокой стойкостью против радиационного распухания и высокотемпературного радиационного охрупчивания, но проявляют склонность к низкотемпературному радиационному охрупчиванию. Актуальной задачей на данном этапе является поиск путей к преодолению этого недостатка.

В работе исследована надатомная структура образцов сталей ЭК-181 и ЧС-139, облученных флюенсом 1×10^{18} , 1×10^{19} и 5×10^{19} н/см². Использовались образцы в исходном состоянии (заводская термообработка) и подвергнутые специальной термообработке по схеме: закалка при 1100°C + отпуск при 720°C и закалка + отпуск + термоциклирование при разных температурах. Проанализировано влияние термообработки и облучения быстрыми нейтронами на размер выделений. Установлено, что типичным является наличие в образцах наночастиц размером 1-2 нм, а также второй моды, описываемой степенным распределением по размерам со средней величиной 6-12 нм.

Работа выполнена по плану РАН (тема № 01.2.006 13394, шифр “Импульс”), при частичной поддержке Минобрнауки (Госконтракт №16.518.11.7032), Программы фундаментальных исследований Президиума РАН “Квантовые мезоскопические и неупорядоченные структуры” (Проект № 12-П-2-1019 УрО РАН) и Программы фундаментальных исследований ОФН РАН “Нейтронные исследования структуры вещества и фундаментальных свойств материи” (Проект № 12-Т-2-1006 УрО РАН).

Моделирование магнитных и магнитокалорических свойств гидридов соединения $\text{La}(\text{Fe}_{0.88}\text{Si}_{0.12})_{13}$ приложением отрицательного давления

Э.З. Валиев

Институт физики металлов УрО РАН, Екатеринбург, Россия

Ферромагнетики $\text{La}(\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x})_{13}$ (кубическая решетка, структурный тип NaZn_{13}) испытывают в окрестности $x \sim 0.9$ магнитный фазовый переход первого рода при температурах $T_C \sim 200$ К. При магнитном фазовом (МФП) переходе значительно изменяется объём образца $\omega = \Delta V/V \approx 10^{-2}$ [1], а намагниченность и объём сильно зависят от давления и магнитного поля. В настоящее время эти соединения интенсивно изучаются с точки зрения их применения как перспективных материалов для систем магнитного охлаждения и магнитострикторов. В работе [1] получено, что в гидридах соединения $\text{La}(\text{Fe}_{0.88}\text{Si}_{0.12})_{13}\text{H}_y$ температура Кюри увеличивается от 195К ($y=0$) до 323К ($y=1.5$), при этом сохраняется род магнитного фазового перехода и большой магнитокалорический эффект. Этот факт дает возможность: значительно расширить температурный интервал практического применения этих соединений и лучше понять причины, ответственные за их магнитные свойства.

Так как одним из последствий гидрирования является увеличение объёма решетки, то можно предположить, что, приложив отрицательное давление, мы получим тот же самый эффект. В настоящей работе на основе нашей модели ферромагнетика [2] показано, что эффект гидрирования соединений $\text{La}(\text{Fe}_{0.88}\text{Si}_{0.12})_{13}\text{H}_y$ удовлетворительно количественно описывается введением отрицательного давления. Расчеты проведены для четырех образцов с $y = 0; 0.5; 1; 1.5$. Получено, что им соответствуют значения давления $P = 0; -0.95$ ГПа; -1.9 ГПа; -2.8 ГПа. С этими значениями давления рассчитаны: температуры Кюри, увеличение постоянных решетки, температурные зависимости намагниченности при различных значениях магнитного поля, изотермическое изменение энтропии при включении и выключении магнитного поля и некоторые другие величины. Получено удовлетворительное согласие с экспериментом. Сделан вывод, что основным эффектом гидрирования соединения $\text{La}(\text{Fe}_{0.88}\text{Si}_{0.12})_{13}$ является увеличение удельного объёма решетки и как следствие, соответствующее изменение его физических свойств.

Работа выполнена по плану РАН (тема № 01.2. 006 13394, шифр «Импульс»), при частичной поддержке программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Квантовые мезоскопические переходы и неупорядоченные структуры» (Проект № 12-П-2-1019 УрО РАН).

- [1] A. Fujita, S. Fujieda, Y. Hasegawa, K. Fukamishi, Phys. Rev. **B67**, 104416 (2003).
[2] Э.З. Валиев, ЖЭТФ, т. **135**, 314 (2009).

Влияние всестороннего давления на магнитные и решеточные свойства ферромагнетика $\text{La}(\text{Fe}_{0.86}\text{Si}_{0.14})_{13}$

Э.З. Валиев¹, И.Ф. Бергер^{1, 3}, В.И. Воронин¹, В.А. Глазков², А.А. Калоян², К.М. Подурец²

¹ Институт физики металлов УрО РАН, Екатеринбург, Россия

² НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия

³ Институт химии твердого тела, Екатеринбург, Россия

В ферромагнетиках $\text{La}(\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x})_{13}$ наблюдаются гигантский магнитокалорический эффект (МКЭ) и большая магнитострикция в относительно небольших магнитных полях. Так как эти соединения показывают близкие к рекордным значениям величины МКЭ и линейной магнитострикции, важно знать причины такого поведения. В настоящей работе приведены результаты измерений температурной зависимости постоянной решетки ферромагнетика $\text{La}(\text{Fe}_{0.86}\text{Si}_{0.14})_{13}$ при различных давлениях и температурах. Эксперименты были выполнены на двух нейтронных дифрактометрах и синхротроне. Температурные измерения без давления проведены в Заречном (дифрактометр Д7а), под давлением в Курчатовском институте (дифрактометр ДИСК). Зависимость параметров решетки от давления при комнатной температуре получена на синхротроне (станция Медиана). Эти измерения необходимы для определения численных значений некоторых физических величин этого соединения и проведения модельных расчетов термодинамических свойств.

Величина модуля всестороннего сжатия $K = -(\partial\omega/\partial P)^{-1}$ нашего образца была получена из измерения постоянной решетки в зависимости от давления при комнатной температуре в интервале давлений 0 – 50 Кбар. Это значение оказалось равно $K = (1,38 \pm 0,05) \cdot 10^3 \text{ Кбар} = (1,38 \pm 0,05) \cdot 10^{12} \text{ дин/см}^2$. Отметим, что ранее в наших расчетах [1] принималось значение $K = 1,2 \cdot 10^{12} \text{ дин/см}^2$ взятое из литературы для родственных соединений.

Измерения температурной зависимости постоянной решетки ферромагнетика $\text{La}(\text{Fe}_{0.86}\text{Si}_{0.14})_{13}$ при давлении 0 и 11 Кбар обнаружили, что при отсутствии давления на температурной зависимости параметра решетки наблюдается резкое уменьшение в интервале от 160 до 210 К, в то время как под давлением 11 Кбар уменьшение происходит в интервале от 110 К до 180 К. Это свидетельствует об изменении T_C под давлением от 210 К до ~150 К. Результаты экспериментов проанализированы с помощью уравнений состояния для магнитной и упругой подсистем ферромагнетика, которые получены в работе [1].

Работа выполнена по плану РАН (тема № 01.2.006 13394, шифр «Импульс»), при частичной поддержке программ фундаментальных исследований Президиума РАН (Проект № 12-П-2-1019 УрО РАН и Проект № 12-Т-2-1006 УрО РАН) и программы Минобрнауки (Госконтракт № 16.518.11.7032).

[1] Э.З. Валиев, В.А. Казанцев, ЖЭТФ, (2011) **140** (6) 1143.

Исследование структурного состояния тепловыделяющих сборок, эксплуатировавшихся в реактор БН-600 в составе, методом нейтронной дифракции

В.И. Воронин¹, И.Ф Бергер^{1,2}, А.В. Козлов³

¹ *Институт физики металлов УрО РАН, Екатеринбург, Россия*

² *Институт химии твердого тела, Екатеринбург, Россия*

³ *ОАО «Институт реакторных материалов», Заречный, Россия*

В настоящее время как у нас, так и за рубежом стало очевидно, что для решения энергобезопасности атомных реакторов в первую очередь требуется понимание тонких механизмов радиационной повреждаемости и радиационной стойкости реакторных материалов, что является необходимым условием решения этих задач. Накопленный опыт исследования реакторных сталей и сплавов показывает, что большую роль в развитии радиационных повреждений в них играют микро- и макронапряжения. Общепринято, что нейтронографические методы предоставляют уникальные возможности изучения радиационных повреждений в этих материалах. Однако, из-за трудностей в выполнении измерений таких характеристик в радиоактивных материалах, объем экспериментальных данных, полученных по ним до настоящего времени, весьма невелик.

Целью настоящей работы является изучение оболочек тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов), эксплуатировавшихся в реактор БН-600 в составе ТВС в течение 558,4 эффективных суток. Исследования были выполнены на нейтронном дифрактометре высокого разрешения Д7а, расположенного на горизонтальном канале реактора ИВВ-2М Института реакторных материалов. Для исследования структурного состояния из общей длины ТВЭЛа были вырезаны образцы из нижней и из центральной части ($T_{\text{эксп.}}=370\text{ }^{\circ}\text{C}$, Доза=3 сна (смещений на атом) и $T_{\text{эксп.}}=525\text{ }^{\circ}\text{C}$, Доза=76 сна). Выявлено наличие большой степени текстурованности исходных оболочек ТВЭЛов. Установлено падение уровня текстурованности при облучении быстрыми нейтронами при достаточно высоких температурах из-за процессов перекристаллизации. Определена анизотропия микронапряжений и ее изменение в оболочках ТВЭЛов в процессе эксплуатации реактора. Выявлено определяющее влияние температуры облучения на структурное состояние оболочек ТВЭЛов.

Работа выполнена по плану РАН (тема № 01.2.006 13394, шифр «Импульс»), при частичной поддержке программы фундаментальных исследований Президиума РАН (Проект № 12-П-2-1019 УрО РАН), программы междисциплинарных фундаментальных исследований Уральского отделения РАН (Проект № 12-М-23-2031 УрО РАН) и программы Минобрнауки (Госконтракт № 16.518.11.7032).

Магнитная структура соединения Nd_5Ge_3

А.П. Вохмянин¹, А.Н. Пирогов¹, В. Maji²

¹Институт физики металлов УрО РАН, Екатеринбург, Россия

²Физический факультет Индийского технологического института, Бомбей, Индия

Интерметаллические соединения типа R_5M_3 , где R – редкоземельный ион, M – Si, Ge, обладают интересными магнитными свойствами, обусловленными наличием двух кристаллографически неэквивалентных позиций для редкоземельного иона. Например, в Nd_5Ge_3 имеет место переход в фазу обратного спинового стекла, необратимый индуцированный внешним полем переход из антиферромагнитного в ферромагнитное состояние и т. д. [1, 2]. Магнитная структура Nd_5Ge_3 изучалась с помощью дифракции нейтронов в работе [3]. Там был сделан вывод, что соединение Nd_5Ge_3 имеет неколлинеарную антиферромагнитную структуру с волновым вектором $\mathbf{k} = 2\pi(0.25, 0, 0)/a$. При этом магнитные моменты ионов, занимающих позицию 6g, ориентированы параллельно оси c, тогда как моменты ионов, находящихся в 4d-узлах, имеют близкие значения проекций момента на гексагональную ось и базисную плоскость, так что моменты отклонены от оси c на 31° . Такая магнитная структура должна описываться базисными функциями двумерных неприводимых представлений.

Мы провели симметричный анализ возможных в Nd_5Ge_3 магнитных структур и установили, что для волнового вектора $\mathbf{k} = 2\pi(0.25, 0, 0)/a$ имеют место только одномерные неприводимые представления.

Наша работа ориентирована на определение магнитной структуры соединения Nd_5Ge_3 , модель которой описывалась бы базисными функциями одномерных неприводимых представлений.

Нейтроннографические измерения были проведены на дифрактометрах Д-2 и Д-3, смонтированных на горизонтальных каналах реактора ИВВ-2М (Заречный, Россия). Использовались пучки нейтронов с длинами волн $\lambda = 1.8 \text{ \AA}$ (Д-2) и 2.43 \AA (Д-3). Нейтроннографические измерения выполнены при 293 и 9 К в криостате с замкнутым гелиевым циклом.

Нейтроннограммы, полученные при комнатной температуре, содержат только ядерные рефлексы. Расчет приводит к следующим структурным параметрам: пространственная группа $R\bar{6}_3/mcm$; параметры решетки $a = 8.765(2) \text{ \AA}$, $c = 6.636(1) \text{ \AA}$; ионы Nd в позиции 4d: $(1/3, 2/3, 0)$ и в 6g-позиции: $(0.243, 0, 0.25)$; Ge в 6g: $(0.607, 0, 0.25)$.

На нейтроннограмме, полученной при 9 К, присутствует сильный магнитный рефлекс $(\mu, 0, 0)$ при $2\theta \approx 4.5^\circ$ и слабые магнитные рефлексы в интервале углов $2\theta \approx (10 - 45)^\circ$.

Учитывая, что базисные функции, описывающие магнитную структуру Nd_5Ge_3 , должны быть получены из одномерных неприводимых представлений, а также наличие магнитного рефлекса-родоначальника, следует ожидать, что искомая модель магнитной структуры будет представлять собой поперечную спиновую волну.

Работа частично финансировалась программой «Импульс», код 01.2.006.13394 и проектом РФФИ № 10-02-00155.

[1] P. Schobinger-Paramanantellos. JMMM. **49**, 349 (1985).

[2] B. Maji, K.G. Suresh and A.K. Nigam. J. Phys: Condens. Matter. **23**, 506002 (2011).

[3] B. Maji, K.G. Suresh and A.K. Nigam. Euro. Phys. Lett. **91**, 37007 (2010).

Кристаллическая и магнитная структура мультиферроика $\text{RbFe}(\text{MoO}_4)_2$ при высоких давлениях и температурах

Н.Т. Данг^{1,2}, Д.П. Козленко¹, С.Е. Кичанов¹, А.И. Иванов³,
Е.В. Лукин¹, Б.Н. Савенко¹, Л.С. Дубровинский⁴

¹ Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

² Тульский государственный университет, Тула, Россия

³ Институт физических проблем им. П.Л. Капицы РАН, Москва, Россия

⁴ Bayerisches Geoinstitute, University Bayreuth, Bayreuth, Germany

Исследование физических свойств и явлений, наблюдаемых в материалах – мультиферроиках, проявляющих одновременное сосуществование сегнетоэлектричества и магнетизма, является одной из наиболее актуальных задач современной физики конденсированного состояния. Помимо классических мультиферроиков сужествуют новые виды мультиферроиков, в которых спонтанная электрическая поляризация возникает за счет нарушения пространственной инверсионной симметрии при несоразмерном магнитном упорядочении, локальных структурных искажений, или ее возникновение имеет релаксорный характер. Таким мультиферроиком является $\text{RbFe}(\text{MoO}_4)_2$ принадлежит семейству неорганических соединений с общей химической формулой $\text{AM}(\text{XO}_4)_2$, где А – щелочной металл, $\text{M} = \text{Cr}^{3+}$, Mn^{3+} , Fe^{3+} , и $\text{X} = \text{Mo}$, W , S или Se [1,2]. Данные соединения проявляют большое разнообразие физических свойств, связанное с полиморфизмом их тригональных слоистых структур и треугольного магнитного упорядочения ионов железа [3]. Уникальные возможности изучения механизмов формирования сегнетоэлектрических и магнитных состояний в мультиферроиках при контролируемом изменении структурных параметров дают нейтронные дифракционные эксперименты при высоких давлениях. В данной работе были проведены детальные исследования кристаллической и магнитной структуры $\text{RbFe}(\text{MoO}_4)_2$ при температурах и давлениях методом нейтронной и рентгеновской дифракции, рамановской спектроскопией.

При нормальных условиях соединение $\text{RbFe}(\text{MoO}_4)_2$ кристаллизуется в тригональной структуре с пространственной группой $P\text{-}3m1$. При уменьшении температуры до $T_k = 180$ К наблюдается структурный фазовый переход из $P\text{-}3m1$ в $P\text{-}3$. При комнатной температуре воздействие высокого давления $P = 1.4$ ГПа приводит к фазовому переходу в новую триклинную структуру. Получены структурные параметры для этих фаз, их барические и температурные коэффициенты.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №12-02-00794-а и госконтрактов № 02.740.11.0542 и №16.518.11.7029, Федеральных целевых программ «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2012 годы» и «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 годы».

[1] Р.Ф. Клевцова, П.В. Клевцова, Кристаллография **15**, 953 (1970).

[2] Р.Ф. Клевцова, П.В. Клевцова, Жур. Струк. Хим. **18**, 419 (1977).

[3] S.T. Bramwell et al., J. Phys. : Condens. Matter. **8**, 123 (1996).

Солитонная и мультифононная микродинамика теплопроводности плутония и урана в области температур мартенситных фазовых переходов

О.А. Дубовский, В.А. Семенов, А.В. Орлов

Физико-энергетический институт им. А.И. Лейпунского, Обнинск, Россия

На нейтронном спектрометре ДИН-2ПИ в ОИЯИ проводятся измерения спектров акустических и оптических колебаний кристаллических решеток топливных реакторных материалов с целью изучения термодинамических характеристик этих материалов. Проведены измерения спектров колебаний кристаллической решётки нитрида урана, анализ его теплоёмкости и теплопроводности, которые показали, что в температурной зависимости коэффициента теплопроводности присутствуют локальные дополнительные максимумы. Для выяснения физического смысла этих максимумов исследовалась микродинамика высокоамплитудных нелинейных колебаний кристаллических решеток урана и плутония при высоких реакторных температурах в областях мартенситных фазовых переходов. В отличие от других работ этого направления, использовался потенциал межатомного взаимодействия Леннарда – Джонса с корректными асимптотиками на предельно больших и малых межатомных расстояниях, что необходимо при высоких температурах. Получены решения нелинейных динамических уравнений при генерации возбуждений, переносе энергии солитонами между границами кристаллов в оболочках и поглощении энергии на границе. Представлены зависимости от времени координат атомов, визуализирующие траектории солитонов, зависимости полной энергии и потока энергии. Синхронность траекторий солитонов и пиков потока энергии демонстрирует стаккато эффект – аналог дробового эффекта, обнаруженного авторами ранее в нитриде урана. Представлены пространственные зависимости температуры при различных способах и интенсивности генерации колебаний. На полученных температурных зависимостях коэффициентов теплопроводности в областях фазовых переходов наблюдаются локальные максимумы, связываемые с генерацией солитонных волн различного типа, определяющих микродинамику развития новых фаз. Спектральный анализ показал, что основной перенос тепла осуществляется солитонами разрежения. При мартенситных переходах в фазовой плоскости происходит перестройка с “возгоранием” высокочастотной области. В спектральной плотности наблюдались максимумы квазифононного типа. Данные в безразмерном представлении кроме P_c и U могут использоваться для других одноатомных кристаллов. Отмечены особенности теплопроводности и микродинамики образования вакансий и пор в кристаллах без оболочек.

Исследования проведены при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Правительства Калужской области.

Исследование фазовых переходов в смеси липидов ДПФХ/ПОФХ методами малоуглового нейтронного и рентгеновского рассеяния

О.И. Иваньков^{1,2}, Д.В. Соловьев^{1,2}, Ю.Е. Горшкова¹, А. Жигунов³,
Л.А. Булавин², В.И. Горделий^{4,5,6}, А.И. Куклин^{1,4}

¹ Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

² Киевский Национальный Университет им. Тараса Шевченко, Киев, Украина

³ Institute of Macromolecular Chemistry of the Czech Republic Academy of Sciences, Prague, Czech Republic

⁴ Центр биологических исследований, МФТИ, Долгопрудный, Россия

⁵ Institute Biological Structure, Grenoble, France

⁶ Institute of Complex System- 5, Juelich, Germany

В работе методом малоуглового рассеяния нейтронов и рентгеновских лучей исследованы мультислойные липидные мембраны ДПФХ (1,2-дипальмитоил-sn-глицеро-3-фосфатидилхолин) и смеси ДПФХ/ПОФХ (1-пальмитоил-2-олеилфосфатидилхолин) в избытке воды[1]. Измерения были реализованы на спектрометре ЮМО реактора ИБР-2 объединенного института ядерных исследований (Дубна, Россия)[2, 3] и спектрометре Rigaku института макромолекулярной химии (Прага, Чехия). Получены температурные зависимости периодов повторяемости липидных бислоев в диапазоне от 3 до 60°C. Было показано, что добавление ПОФХ в систему ДПФХ/H₂O в пределах экспериментальной ошибки не изменяет температуру главного фазового перехода для ДПФХ. Наблюдаемое фазовое разделение происходит и в системе ДПФХ/ПОФХ/H₂O до температуры предперехода (гель-риплл фаза) мультислойных мембран ДПФХ. Обнаружено, что гель-фаза для смеси ДПФХ/ПОФХ имеет меньший период повторяемости, чем для чистого ДПФХ. Данный эффект существенно выше для образцов, измеренных с помощью МУРР. Выявлена дополнительная фаза для системы, измеренной на установке малоуглового рентгеновского рассеяния. Обсуждаются возможные причины такого поведения смеси липидов.

[1] Soloviov, D.V., et al., *Ripple Phase Behavior in Mixtures of DPPC/POPC lipids: SAXS and SANS Studies*. Journal of Physics: Conference Series, 2012. **351**(1): p. 012010.

[2] Kuklin, A.I., et al., *New opportunities provided by modernized small-angle neutron scattering two-detector system instrument (YuMO)*. Journal of Physics: Conference Series, 2011. **291**(1): p. 012013.

[3] A.I. Kuklin, A.K. Islamov, and V.I. Gordeliy, *Two-Detector System for Small-Angle Neutron Scattering*. Neutron News, 2005. **16**: p. 16-18.

Нейтроннографическое и рентгенографическое исследование монокристаллов $\text{La}_{1-y}\text{Sr}_y\text{F}_{3-y}$ ($y = 0.05, 0.07, 0.15$) со структурным типом LaF_3

Н.Б. Болотина¹, А.И. Калюканов^{1,2}, Т.С. Черная¹, И.А. Верин¹, Л.Е. Фыкин², Б.П. Соболев¹

¹Учреждение Российской академии наук Институт кристаллографии им. А.В. Шубникова РАН, Москва, Россия

²Филиал ФГУП «НИФХИ им. Л.Я. Карпова», Обнинск, Россия

Тип тисонита (LaF_3) захватывает почти половину ряда RF_3 от LaF_3 до GdF_3 (фториды 7 элементов из 15 РЗЭ, исключая Pm и Sc). Уменьшение радиусов R^{3+} на 10 % (к La^{3+}) приводит к тонким изменениям - подвижкам анионов, а затем к морфотропному изменению структуры у SmF_3 . Для тисонитовых RF_3 описаны две формы: упорядоченная с пр. гр. $P\bar{3}c1$ и “большой” ячейкой ($z = 6$) и разупорядоченная с пр. гр. $P6_3/mmc$ и “малой” ячейкой ($z = 2$). Авторы [1] отнесли первую форму к низкотемпературной, а вторую к высокотемпературной. Они обнаружили размытые тепловые эффекты переходов для $R = \text{La} - \text{Eu}$. Температуры переходов проходят через минимум для RF_3 с $R = \text{Nd} - \text{Sm}$ ($1007 \pm 25^\circ\text{C}$) и возрастают до 1377 и 1002°C для LaF_3 и EuF_3 соответственно.

Открытое [2] прохождение через максимум фтор-ионной проводимости $\sigma(500\text{K})$ RF_3 между LaF_3 и NdF_3 коррелирует с минимумом на зависимости температур перехода «порядок – беспорядок» на фоне монотонного уменьшения ионных радиусов по ряду РЗЭ. Переход в анионной подрешетке типа LaF_3 происходит в равновесных условиях при высоких температурах и непосредственно не связан с поведением σ тисонитовых RF_3 при 500 K в [2]. Возможность закалки разупорядоченной формы RF_3 не изучена, как и возможности ее стабилизации. В [3] показано большое влияние на термическую стабилизацию структуры LaF_3 изменениями анионного мотива, вносимыми замещениями R^{3+} на M^{2+} ($M = \text{Ca}, \text{Sr}, \text{Ba}$) с образованием нестехиометрических фаз $R_{1-y}M_y\text{F}_{3-y}$ с анионными вакансиями. Величины их σ значительно выше, чем у прототипов RF_3 . Суперионная проводимость многокомпонентных кристаллов фторидов с тисонитовой структурой имеет большое практическое значение для создания твердых электролитов для батарей и аккумуляторов следующего поколения [4, 5].

Фазы $R_{1-y}M_y\text{F}_{3-y}$ для выяснения тонких изменений в тисонитовом анионном мотиве более благоприятны, чем RF_3 . В них появляется возможность структурных изменений, контролируемых составом, и стабилизации фаз типа тисонита в системах $M\text{F}_2 - \text{RF}_3$.

В настоящей работе изучены кристаллы $\text{La}_{1-y}\text{Sr}_y\text{F}_{3-y}$ ($y = 0.05, 0.07, 0.15$) - наиболее термически стабильные и проводящие из всех тисонитовых фаз $R_{1-y}M_y\text{F}_{3-y}$. Рентгенографическое исследование выполнено на дифрактометре Xcalibur S, $\text{MoK}\alpha$ $\lambda = 0.71069\text{ \AA}$. Нейтроннографическое исследование проводилось на реакторе ВВР-ц (филиал НИФХИ им. Л.Я.Карпова), $\lambda = 1.167\text{ \AA}$, Cu - монохроматор, $\theta/2\theta$ - сканирование.

Твердый раствор $\text{La}_{0.85}\text{Sr}_{0.15}\text{F}_{2.85}$ кристаллизуется в малой ячейке с симметрией не ниже $P\bar{6}m2$. Структуры двух других кристаллов (с меньшим содержанием Sr) требуют перехода к большой ячейке и в пр. гр. $P\bar{3}c1$. Анализируются соответствующие изменения в распределении анионов и анионных вакансий. Концентрационное изменение дефектной структуры в области гомогенности тисонитовой фазы $\text{La}_{1-y}\text{Sr}_y\text{F}_{3-y}$ обнаружено впервые.

Работа выполнена при поддержке гранта ведущих научных школ НШ-2883.2012.5 и ГК 16.518.11.7108 с Минобрнауки.

- [1] Greis O., Cader M.S.R. // Thermochim. Acta, 1985. V. 87. No. 1 P. 145.
- [2] Сорокин Н.И., Соболев Б.П. // Кристаллография. 1994. Т. 39. № 5. С. 889.
- [3] Sobolev B.P., Fedorov P.P., Seiranian K.B. et al. // J. Solid State Chem. 1976, V. 17. № 2. P. 201.
- [4] Потанин А.А. // Журн. Всеросс. хим. о-ва им. Д.И. Менделеева. 2001. Т. 45. № 5 - 6. С. 58.
- [5] Anji Reddy M., Fichtner M. // J. Mater. Chem. 2011. V. 21. P. 17059.

Коллапс 4f электронной оболочки в интерметаллиде CeNi и в квазибинарных системах на его основе

Е.С. Клементьев^{1,2,3}, А.В. Мирмельштейн⁴, Ю.Б. Лебедь¹, А.В. Цвященко⁵, Д.П. Козленко⁶

¹ *Институт ядерных исследований РАН, Москва, Россия*

² *НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия*

³ *НИЯУ МИФИ, Москва, Россия*

⁴ *РФЯЦ-ВНИИТФ, Снежинск, Россия*

⁵ *Институт физики высоких давлений РАН, Троицк, Россия*

⁶ *Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия*

Промежуточно-валентный интерметаллид CeNi и квазибинарные системы на его основе демонстрируют фазовый переход с коллапсом 4f электронной оболочки. Представлены результаты рентгеновских и нейтронных исследований этого явления. Эксперименты проводились при высоком давлении а также с использованием метастабильной фазы CeNi, синтезированной при высоком давлении.

Рентгенограммы соединений на основе CeNi были измерены в алмазных наковальнях при давлениях до 18 GPa. Измерения проводились с использованием позиционно-чувствительного детектора.

Измерения нейтронных дифрактограмм проводились времяпролетным методом с использованием сапфировых наковален в диапазоне давлений 0-5 GPa.

Был сделан полнопрофильный анализ рентгеновских и нейтронных дифрактограмм, обсуждается возможная структура фаз высокого давления интерметаллида CeNi и квазибинарных систем на его основе.

Работа выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проект РФФИ 11-02-01171-а).

Особенности рассеяния нейтронов при термической обработке сплава $\text{Co}_{67}\text{Fe}_{31}\text{V}_2$

А.В. Ковалев, О.П. Смирнов

Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия

На сплавах с малыми отличиями магнитной и ядерной амплитуд рассеяния можно получить наиболее сильные эффекты при малоугловом рассеянии нейтронов магнитными материалами.

Измерения выполнялись на установке малоуглового рассеяния „Вектор“ (реактор ВВР-М, Гатчина). Длина волны нейтронов в максимуме спектрального распределения $\lambda \approx 8.2 \text{ \AA}$. Сильные отличия показанных на рис. 1 и 2 результатов связаны с наличием ванадия в первом сплаве, что при его отжиге приводит к формированию некой мелкодисперсной фазы.

Полученные нейтронограммы показали, что в исходном состоянии образцов имеется метастабильная неупорядоченная кристаллическая фаза, а после их отжига появляются дифракционные рефлексy (100), (111) и (210) упорядоченной фазы.

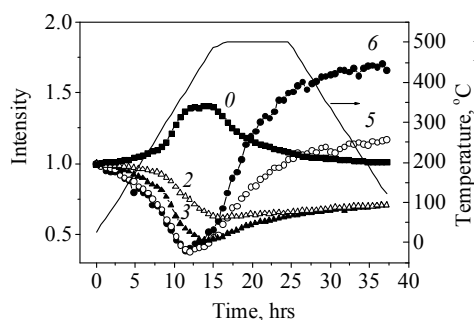


Рис. 1: Изменения интенсивностей в разных счетчиках детекторной системы при отжиге сплава $\text{Co}_{67}\text{Fe}_{31}\text{V}_2$; номерам счетчиков n соответствуют интенсивности на углах $n(13)'$; $H = 3 \text{ Oe}$

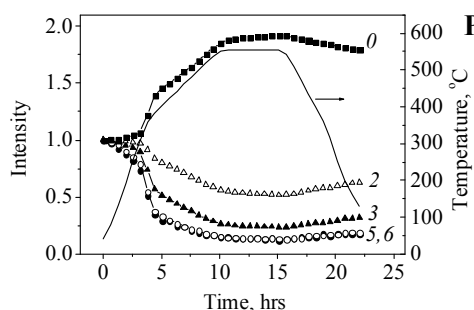


Рис. 2. То же, что на рис. 1, но для сплава $\text{Co}_{68}\text{Fe}_{32}$

После показанной на рис. 1 термической обработки обнаружены разные величины интегральных интенсивностей $Q(+,+)$ и $Q(-,-)$. Для приведенных на рис. 3 результатов измерений отношение $Q(11)/Q(00) = 1.566(5)$. Предлагается возможный вариант объяснения этого эффекта.

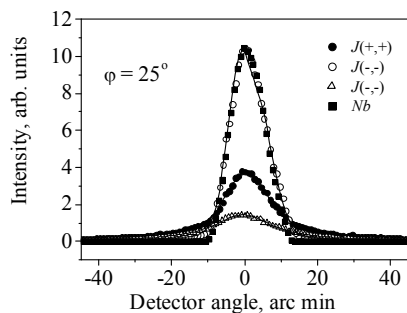


Рис. 3. Угловые распределения интенсивностей $J(\theta)$ при горизонтальном поле $H = 4.65 \text{ kOe}$, параллельном плоскости пластинки (толщина 1.2 mm), между которой и направлением нейтронного пучка имеется угол $\varphi \approx 25^\circ$; Nb – профиль первичного пучка, интенсивность которого нормирована на максимальную величину $J(-,-)$; сплошные линии – результаты аппроксимации экспериментальных данных суммами функций Гаусса и Лорентца

**От квантового беспорядка к магнитному порядку на кагоме решетке со спином $s = 1/2$:
нейтронные исследования гербертсмитита $\text{ZnCu}_3(\text{OD})_6\text{Cl}_2$ при высоком давлении**

Д.П. Козленко¹, Е.В. Лукин¹, D.A. Keen², W.G. Marshall², M.A. de Vries³, K.V. Kamenev⁴

¹ Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

² ISIS Facility, STFC Rutherford Appleton Laboratory, Harwell Oxford, OX11 0QX UK

³ CSEC and School of Chemistry, University of Edinburgh, Edinburgh, UK

⁴ CSEC and School of Engineering, University of Edinburgh, Edinburgh, UK

Проведено исследование кристаллической и магнитной структуры дейтерированного гербертсмитита $\text{ZnCu}_3(\text{OD})_6\text{Cl}_2$ методом нейтронной дифракции, а также магнитной восприимчивости, в диапазоне высоких давлений 0 – 10 ГПа и температур 1.5 – 300 К [1].

Данное соединение проявляет наиболее идеальную реализацию двумерной Кагоме решетки ионов Cu со спином $s = 1/2$, имеющей основное состояние квантовой спиновой жидкости.

Обнаружено, что при $P = 2.5$ ГПа в $\text{ZnCu}_3(\text{OD})_6\text{Cl}_2$ происходит магнитный фазовый переход из состояния квантовой спиновой жидкости в антиферромагнитное состояние с температурой Нееля $T_N = 6$ К и магнитной элементарной ячейкой $\sqrt{3}a \times \sqrt{3}a$. В области фазового перехода наблюдаются аномалии барического поведения межатомных расстояний Cu-O и углов Cu-O-Cu, Cu-Cl-Cu. Обсуждаются причины наблюдаемого магнитного фазового перехода.

[1] D.P. Kozlenko et al., Phys. Rev. Lett. 108, 187207 (2012).

Определение Gd и Sm в металлофуллеренах на РФА-спектрометре полного отражения с параллельным пучком

А.Е. Тихонова, В.С. Козлов

Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия

Углеродные наноструктуры находят все более широкое применение в медицинских приложениях. Металлофуллерены лантаноидного ряда могут использоваться в качестве компонентов диагностических и терапевтических препаратов, изотопных меток – трейсеров, носителей лекарственных веществ. Например, гидроксил-производные эндометаллофуллеренов (ЭМФ) гадолиния $Gd@C_{82}(OH)_x$, используемые в качестве контрастирующего вещества в ЯМР-томографии, превосходят в 20 раз по эффективности традиционно применяемые, коммерчески доступные аминные комплексы Gd.

Широкое внедрение в медицинскую практику сдерживается высокой стоимостью таких препаратов. Разработка эффективных технологий их получения требует постоянного контроля содержания целевого продукта ($Gd@C_{82}$) на всех этапах: от металлофуллереновой сажи до получения гидроксिलированных производных.

Для экспрессного количественного определения содержания металлофуллеренов Gd и Sm в исследуемых образцах нами предлагается метод рентгенофлуоресцентного анализа на спектрометре полного отражения с параллельным пучком [1]. Прибор позволяет определить относительную концентрацию элементов для поэтапного мониторинга при разработке высокопроизводительной технологии получения ЭМФ. Абсолютную концентрацию элементов можно получить методом введения внутреннего стандарта, добавляя в исследуемый образец один из элементов (Ga) в заданной концентрации (Рис.).

Разработанная методика позволяет проводить измерение абсолютной концентрации Gd и Sm в порошковых пробах из навесок в несколько миллиграмм и жидких пробах объемом несколько микролитров. Чувствительность метода по Sm и Gd составляет ~ 30 нг.

Погрешность определения для жидких проб составляет 2-3%, для порошковых – 5-6%.

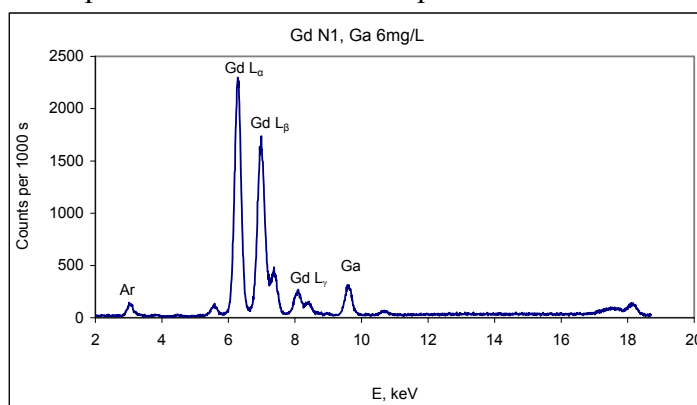


Рис. РФА- спектр пробы с внутренним стандартом.

[1] Е.М. Коротких, РФ-спектрометр полного отражения с параллельным пучком. Препринт ПИЯФ № 2349, 2000 г.

Особенности формирования основного состояния в PrB6

В.Н. Лазуков

НИИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия

Проведены измерения температурных зависимостей теплопроводности и намагниченности монокристалла PrB6 в магнитных полях 0 – 14 Т, а также неупругого магнитного рассеяния нейтронов. Анализ полученных данных показал, что, наряду с известными магнитными фазовыми переходами при $T \sim 7$ К и $T \sim 4$ К, при температурах ниже 20 К в PrB6 появляется спонтанная намагниченность с относительно небольшим магнитным моментом, возникающая в результате снятия вырождения основного состояния, по-видимому, за счет динамических структурных искажений.

Магнитоэлектронное фазовое разделение в допированных дырками манганитах и кобальтитах

А.В. Лазута¹, В.А. Рыжов¹, В.П. Хавронин¹, Я.М. Муковский²

¹ Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия

² Московский государственный институт стали и сплавов, Москва, Россия

Образование ферромагнитных (Ф) металлических (М) кластеров в допированных дырками манганитах (ДМ) и кобальтитах (ДК) ниже температуры $T^* > T_C$ является одной из форм магнитоэлектронного фазового разделения, нередко реализующегося в системах с сильными электронными корреляциями. Однако, как природа так и следствия формирования этого состояния остаются не до конца ясными вопросами. Родительские соединения ДМ и ДК в основном состоянии – изоляторы (И) с различными магнитными свойствами: антиферромагнитными для ДМ и немагнитными для ДК (Co^{3+} с $S = 0$). Источник Ф в ДМ – двойной обмен между магнитными ионами Mn^{3+} и Mn^{4+} . В ДК появляется магнитный Co^{4+} ион, индуцирующий состояние с $S \neq 0$ для окружающих Co^{3+} ионов, и двойной обмен между этими ионами приводит к формированию Ф кластеров. Наши исследования кластерного состояния (КЛС) включали анализ кристаллической структуры (дифракция нейтронов), транспорта и магнитных свойств (линейной и нелинейной (второго и третьего порядка) восприимчивостей). Измерения второй гармоники намагниченности в параллельных ас и постоянном магнитных полях позволяет контролировать Т-эволюцию КЛС поскольку этот отклик крайне чувствителен к появлению Ф фракции в образце. Изучение широкого класса ДМ и ДК показали, что развитие КЛС в этих системах происходит сходным образом, несмотря на разницу в свойствах матриц. Регистрируются три стадии. Первая - связана с рождением кластеров на предпочтительных узлах, возникающих из-за вариаций в кислородной и допинговой стехиометрии. В конце этой стадии формируется сигнал регулярной формы, за который отвечают изолированные однодоменные Ф частицы. При дальнейшем охлаждении, на втором этапе сигнал (плотность кластеров) быстро нарастает в узком Т-интервале. Это процесс однородной нуклеации Ф фазы. Третья стадия ассоциируется с коалесценцией изолированных Ф кластеров в крупномасштабные комплексы. Она сопровождается формированием Ф доменов. Развитие этого процесса приводит к образованию протекательной сети, ведущей к М режиму. Описанное поведение соответствует переходу первого рода. Представляются результаты изучения ДМ $\{ \text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3 (x = 0.2, \text{ФИ и } x = 0.25, \text{ФМ (температура И-М перехода } T_{\text{ИМ}} > T_C) \}$ и ДК $\{ \text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_3 (x = 0.15, \text{ИФкластерное стекло и } x = 0.3, \text{ФМ (М режим при всех Т)} \}$. В ДМ с $x = 0.2$ наблюдаются две первые стадии эволюции КЛС. Вторая - развивается вплоть до T_C матрицы. Характер перехода (второй род) сохраняется. В ДМ с $x = 0.3$ реализуются три стадии формирования КЛС, приводящие к протекательному И-М переходу выше T_C . Взаимодействие протекательного ФМ кластера с матрицей приводит к изменению характера магнитного перехода. В результате образуется узкий сильный пик теплоемкости в T_C , характерный для перехода первого рода. Кластеры в ДК с $x = 0.15$ испытывают три этапа эволюции, завершающиеся формированием кластерного стекла. Новым неожиданным результатом для ДК с $x = 0.3$ является обнаружение Ф кластеров в М – режиме. До T_C они испытывают две стадии Т-эволюции. Ниже T_C идет формирование однородного ФМ состояния.

Исследование структурных изменений в хлорпропамиде при высоком давлении

Н.В. Лошак^{1,2}, С.Е. Кичанов¹, Д.П. Козленко¹, Я.В. Вонсицки³, Е.В. Лукин¹, К. Лате⁴,
Б.Н. Савенко¹, Л.А. Булавин²

¹Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

²Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев, Украина

³Университет им. А.Мицкевича, Познань, Польша

⁴Helmholtz Centre Potsdam, Potsdam, Гамбург, Германия

Детальные и систематические исследования полиморфных фазовых переходов, вызванных давлением или температурой, их термодинамических и кинетических параметров, а также структурных особенностей новых полиморфных форм лекарственных компонентов, является одной из актуальных проблем современной фармакологии и физики конденсированных сред [1].

Одним из удобных модельных объектов для изучения подобных полиморфных превращений в фармакологических компонентах при компрессии или локальном нагреве является хлорпропамид $C_{10}H_{13}ClN_2O_3S$. Он относится к группе сульфонилмочевинных соединений и используется в качестве антидиабетического компонента для широкого спектра фармакологических препаратов.

В работе методом рентгеновской дифракции и рамановской спектроскопии впервые обнаружен полиморфный фазовый переход в хлорпропамиде при высоких давлениях $P = 1.2$ ГПа. При нормальных условиях хлорпропамид находится в α -форме, кристаллическая структура которой описывается орторомбической симметрией с пространственной группой $P2_12_12_1$ [2,3]. Установлено, что фаза высокого давления является моноклинной полиморфной формой γ хлорпропамида с пространственной группой $P2_1$. Получены параметры элементарной ячейки полиморфных форм α и γ хлорпропамида и рассчитаны их барические коэффициенты.

Работа поддержана грантом РФФИ №11-02-00416-а, госконтрактами №02.740.11.0542 и №16.518.11.7029 и Федеральными целевыми программами «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2012 годы» и «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 годы».

[1] Brittain H.G. // J Pharm Sci. 2002. V. 91. P.1573–1580.

[2] Wasicki J., Kozlenko D.P., Pankov S.E., et al. // J. Pharm. Sci. 2009. V.98. P.1426.

[3] Drebuschak T.N., Chukanov N.V., Boldyreva E.V. // Acta Cryst. 2008. C.64. P.623-625.

Структура гидрида на основе ИМС CeNi₃ с высоким содержанием водорода

С.А. Лушников¹, Т.В. Филиппова¹, И.А. Бобриков², А.М. Балагуров², В.П. Глазков³,
В.А. Соменков³

¹ МГУ им. Ломоносова, Москва, Россия

² Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

³ НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия

Проведен синтез гидридной фазы на основе интерметаллида CeNi₃ при обычном давлении (до 100 атм) и низкой температуре (T=273K) с содержанием водорода 5.0 Н/ИМС. С помощью рентгеновской и нейтронной дифракции определены типы позиций и позиционные параметры атомов металлов и водорода и установлено, что гидрид сохранил структурный тип исходного соединения CeNi₃ с расширенной кристаллической решеткой (рис.). Данная гидридная фаза отличается от ранее исследованных гидридов CeNi₃H_{3.0} со средней концентрацией и CeNi₃H_{5.2} с высоким содержанием водорода распределением водорода по междоузлиям металлической матрицы и меньшим объемом решетки. В гидриде CeNi₃H_{3.0} со средней концентрацией 62% атомов водорода заполняют пустоты структурного блока RT₂, 25% в блоке RT₅ и 13% на границе блоков RT₂ и RT₅. В гидриде CeNi₃H_{5.2} с высоким содержанием водорода, синтезированном при использовании высокого давления (до 2000 атм) 46% атомов водорода заполняют пустоты структурного блока RT₂, 39% в блоке RT₅ и 15% на границе блоков RT₂ и RT₅. В низкотемпературном гидриде CeNi₃H_{5.0} 27% атомов водорода находятся в пустотах структурного блока RT₂, 70% в блоке RT₅ и 3% на границе блоков RT₂ и RT₅. Таким образом, в гидриде CeNi₃H_{5.0} в наибольшей степени заполнены пустоты структурного блока RT₅. Такое заполнение пустот водородом в гидриде CeNi₃H_{5.0} вызвано перераспределением водорода по междоузлиям решетки при снижении температуры. Аналогичное поведение при снижении температуры известно в литературе для хорошо изученных гидридов d-металлов (V, Nb, Ta) и также связано с перераспределением водорода по водородным подрешеткам матрицы.

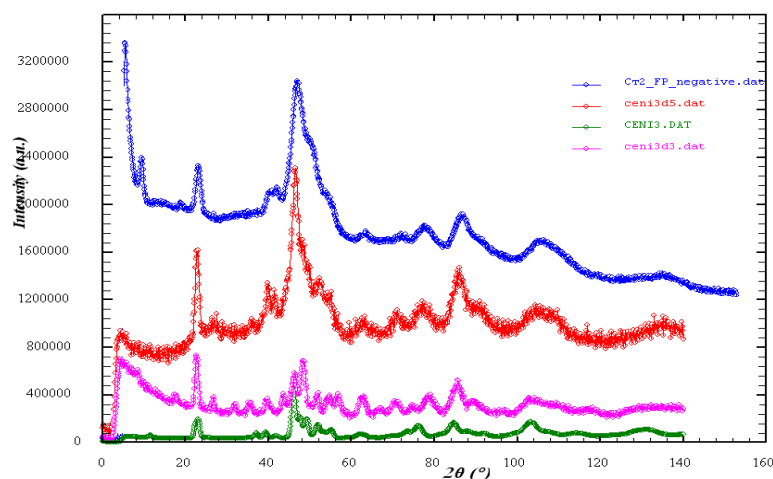


Рис. Нейтронные дифрактограммы ИМС CeNi₃ (нижняя), гидрида CeNi₃H_{3.0} (вторая снизу), гидрида высокой концентрации CeNi₃H_{5.2} (третья снизу) и гидридной фазы CeNi₃H_{5.0} (верхняя).

Исследование кинетики окисления ультратонких пленок титана

В.А. Матвеев, Н.К. Плешанов, В.Г. Сыромятников, А.П. Булкин

Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия

Поляризационная нейтронная оптика является одним из основных методов получения пучков поляризованных нейтронов и поляризационного анализа, используемых в российских и зарубежных нейтронных исследовательских центрах. Основой нейтронно-оптических поляризаторов, анализаторов и поляризующих монокроматоров являются многослойные поляризующие покрытия. Такие покрытия представляют собой многослойные структуры, состоящие из чередующихся магнитных и немагнитных нанослоев. На основе анализа исследований проведенных в ПИЯФ был предложен, теоретически обоснован и экспериментально проверен новый метод улучшения поляризующих нейтронных покрытий. Он сводится к использованию ультратонких слоев с отрицательным нейтронно-оптическим потенциалом («антибарьерных» слоев) для подавления отражения нейтронов с нежелательным спином от потенциальных барьеров, образованных структурными несовершенствами многослойных покрытий [1]. Основным претендентом на роль материала для таких «антибарьерных» слоев является титан. Расчеты показывают, что использование ультратонких Ti слоев могут увеличить флип-отношение для отражения от поляризующих нейтронных покрытий на 1-2 порядка величины. Однако при контакте с кислородом на поверхности металлических пленок происходит образование оксидного слоя, толщина которого зависит от типа металла, температуры и условий процесса окисления. При этом образование оксида на поверхности и в объеме пленок также происходит непосредственно в процессе напыления. Оксидный слой на поверхности пленок титана формирует барьер, повышающий отражение нейтронов с нежелательными спинами, а наличие ядер кислорода в объеме пленки уменьшает эффективность «антибарьерного» слоя. Это приводит к необходимости исследования процесса окисления ультратонких пленок титана.

В рамках представленной работы была исследована кинетика окисления пленок титана толщиной от 10 до 40 нм, полученных с помощью магнетронного напыления. В качестве основного метода исследований была выбрана нейтронная рефлектометрия. Благодаря большой величине нейтронно-оптического контраста данный метод позволяет не только с хорошей точностью определить толщину слоя диоксида на поверхности титановых пленок, но и обнаружить переходный слой между слоем диоксида титана и самой титановой пленкой. Чтобы ускорить процесс окисления пленки отжигались при температурах $T=100-300^{\circ}\text{C}$ в атмосфере воздуха. Установлено, что скорость роста оксидного слоя на поверхности титановых пленок в таких условиях отжига наиболее удовлетворительно описывается параболическим законом.

[1] N.K. Pleshanov, Nucl. Instrum. Methods A 613, 15 (2010).

Нейтронная спектроскопия и модельные расчеты динамики метиловых групп в изомерах диметил пиридины

И. Натканец

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

Dimethylpyridines, $(C_5H_3N(CH_3)_2)$, commonly known as lutidines, form six structural isomers depending on positions of methyl groups bonded at pyridine ring. They have been selected as model substaces for comparison they thermodynamical properties obtained by calorimetric and spectroscopic methods. Inelastic neutron scattering (INS) spectra have been measured on the NERA spectrometer at the IBR-2 reactor. The low temperature INS spectra have been used as a test of the DFT ab initio modeling of vibrational spectra of isolated molecules, as well as, dimers and trimmers bonded by a weak C-H...N interactions. Periodic DFT calculations of optical frequencies using the experimental structural data of investigated substances were performed for comparison of hindrance of methyl rotations in linear clusters and in crystals.

Самодиффузия в жидком литии из экспериментов по когерентному квазиупругому рассеянию

Н.М. Благовещенский, А.Г. Новиков, В.В. Савостин

ГНЦ РФ - Физико-энергетический институт им. А.И. Лейпунского, Обнинск, Россия

Методом когерентного квазиупругого рассеяния нейтронов исследована температурная зависимость коэффициента самодиффузии жидкого лития в температурном интервале (500-830) К. Получено хорошее согласие с результатами, извлекаемых из традиционно используемых для этих целей экспериментов по некогерентному квазиупругому рассеянию, а также с соответствующими данными других источников.

Перспективы нейтронной спектроскопии генерируемых ультразвуком и гиперзвуком связанных мультифононных солитонов и бисолитонов нового типа

О.А. Дубовский, А.В. Орлов

ГНЦ РФ Физико-энергетический институт им. А.И. Лейпунского, Обнинск, Россия

На нейтронном спектрометре ДИН-2ПИ в ОИЯИ проводятся измерения спектров акустических и оптических колебаний кристаллических решеток топливных реакторных материалов с целью изучения термодинамических характеристик этих материалов, необходимых для оптимизации энергетического баланса в ядерных реакторах. Проведенные измерения спектров колебаний нитрида урана и анализ теплопроводности показали, что в температурной зависимости коэффициента теплопроводности присутствуют локальные дополнительные максимумы. Было показано, что особенности температурной зависимости коэффициента теплопроводности связаны с термическим возбуждением в кристаллических решетках при высокой температуре высокоамплитудных нелинейных колебаний солитонного, в квантовой теории связанного мультифононного типа. Ранее в ряде экспериментальных работ исследовались характеристики рассеяния нейтронов на материалах, подвергаемых облучению ультразвуком. В данном сообщении показано, что при импульсном воздействии ультразвука и гиперзвука определенного типа на кристаллические материалы в дополнение к известным типам солитонных и бризерных возбуждений генерируются солитоны и бисолитоны принципиально нового типа. С использованием межатомного потенциала Леннарда – Джонса получены решения нелинейных динамических уравнений при генерации гиперзвуком в кристаллических материалах колебательных возбуждений различного типа. В дополнение к известным сверхзвуковым солитонам сжатия обнаружены дозвуковые солитоны, пересекающие, что необычно, в фазовой плоскости дисперсионную кривую фононов. Впервые в рамках метода молекулярной динамики обнаружены бисолитоны нового типа, лишь в некоторой степени аналогичные бисолитонам, ранее найденным авторами с использованием аналитического подхода. Исследована спектральная плотность колебаний и показано, что дисперсионная кривая бисолитонов примыкает с низкочастотной стороны к дисперсионной кривой солитонов обычного типа. Определены основные амплитудно-спектральные характеристики солитонов и бисолитонов нового типа в решетках урана и плутония. Полученные в безразмерном представлении результаты кроме урана и плутония могут использоваться и для других одноатомных материалов. Исследованные нелинейные волны солитонного типа определяют динамику ранней стадии процессов испарения и взрывного разрушения материалов.

Исследования проведены при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Правительства Калужской области.

Трансформации спиновой структуры MnSi в области критических температур в магнитном поле

С.В. Григорьев^{1,2}, Н.М. Потапова¹, Е.В. Москвин^{1,2},
В.А. Дядькин¹, Ch. Dewhurst³, С.В. Малеев¹

¹ Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия

² Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

³ Институт Лауэ-Ланжевена, Гренобль, Франция

С помощью малоуглового рассеяния поляризованных нейтронов изучены температурные трансформации спиновой структуры MnSi в критическом диапазоне температур вблизи $T_C = 29$ К в магнитном поле $H \sim H_A \sim 0,17$ Тл. С приложением поля вблизи T_C наблюдаются 3 различных магнитных состояния системы: (i) флуктуации спиновой спирали, беспорядочно ориентированные с волновым вектором \mathbf{k}_F ; (ii) одномерная коническая спираль с $\mathbf{k}_C \parallel \mathbf{H}$ и (iii) двумерная гексагональная спиновая сверхструктура с $\mathbf{k}_H \perp \mathbf{H}$.

Известно, что в нулевом поле в MnSi наблюдается сложный переход из парамагнитной фазы в геликоидальную фазу. При этом можно выделить три переходные области. Из парамагнитного состояния система переходит во флуктуирующее, частично-киральное состояние при $T^* \approx 31,5$ К, при этом функция рассеяния на данных флуктуациях описывается функцией Лоренца с шириной k_F равной $2\mathbf{k}_F$. Затем, система, из частично-кирального состояния, переходит флуктуирующее 100% киральное при $T_k \approx 30$ К, при этом $k_F \sim \mathbf{k}_F$. И, наконец, из 100% кирального состояние в упорядоченную спиральную структуру при $T_C = 29$ К [1].

При охлаждении в поле $H = 0,17$ Тл при $T = T^*$ появляются флуктуации конической спирали, которые добавляются к критическим флуктуациям плоской спирали (при этом $\mathbf{k}_C \neq \mathbf{k}_F$). При дальнейшем охлаждении к уже флуктуирующим объектам при $T = T_k$ добавляются флуктуации двумерной гексагональной структуры (флуктуации А-фазы). При $T = T_C$ появляются и сосуществуют коническая фаза и двумерная гексагональная фаза (А-фаза) на фоне присутствующих в системе критических флуктуаций обычной спирали. Следует отметить, что ширина пика конической фазы и гексагональная сверхструктура ограничена разрешением установки. А-фаза развивается при дальнейшем охлаждении ниже T_C , и доминирует над конической фазой. При дальнейшем охлаждении (ниже $T = 28$ К) наблюдается только коническая фаза. В области А-фазы гексагональная сверхструктура заметно доминирует над конической фазой, а их волновые вектора практически равны ($\mathbf{k}_H = (0.987 \pm 0.003)\mathbf{k}_C$).

Таким образом, экспериментально показано, что

- А-фаза является двумерной гексагональной спиновой сверхструктурой созданной теми же взаимодействиями (ферромагнитным обменом и DM взаимодействием) как и простая спиновая или коническая спираль, поскольку $\mathbf{k}_H = \mathbf{k}_C$ во всём диапазоне температур, а $k_H = k_C$ ограничены разрешением установки;

- критические флуктуации не коррелируют с гексагональной сверхструктурой (А-фазой), поскольку $\mathbf{k}_H \neq \mathbf{k}_F$ и $k_H \neq k_F$;

- коническая спираль оказывается энергетически выгоднее гексагональной сверхструктуры в области критических температур выше T_C , и проигрывает этой сверхструктуре только в области А-фазы ниже T_C .

Работа выполнена в рамках государственных контрактов No.02.740.11.0874 и 07.514.12.4003.

[1] S.V. Grigoriev, S.V. Maleyev, E.V. Moskvina, V.A. Dyadkin, P. Fouquet and H. Eckerlebe, Phys. Rev. B **81** (2010) 144413.

Анализ распределения магнитных примесей в немагнитных материалах методом малоуглового рассеяния поляризованных нейтронов

В.В. Рунов, Д.С. Ильин, М.К. Рунова, А.К. Раджабов

Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия

Обсуждается возможность изучения магнитных примесей, т.е. ферромагнитных корреляций, в объеме немагнитного материала. В качестве примера приведены результаты измерений ферромагнитных корреляций в сплаве CuZn(20) с примесью Ni (1 ат.%) при различной термообработке образцов. Эксперименты проведены на установке малоуглового рассеяния поляризованных нейтронов ВЕКТОР (реактор ВВР-М, ПИЯФ, Гатчина), работающей в щелевой геометрии в диапазоне векторов рассеяния $0 < q < 3 \cdot 10^{-1} \text{ \AA}^{-1}$ ($q = k - k'$, где k, k' – волновые векторы падающих и рассеянных нейтронов). Длина волны в эксперименте составляла $\lambda = 9.2 \text{ \AA}$ ($\Delta\lambda/\lambda=0.25$). В работе измерялись деполяризация нейтронов в образцах и магнитно-ядерная интерференция. Показано, что Ni кластеризуется в CuZn – матрице с характерным радиусом корреляций $100 < R_c < 5000 \text{ \AA}$ в зависимости от термообработки образцов. Вид кросс-коррелятора, определяющего магнитно-ядерную интерференцию, удовлетворительно описывается экспоненциальным законом $\exp(-r/R_c)$, где r – расстояние. Найдено, что немагнитная матрица CuZn(20) с практически равномерным распределением 1% примеси Ni обладает метамагнитными свойствами в поле $H \approx 0.5 \text{ Т}$ при комнатной температуре.

Влияние высокого давления на кристаллическую и магнитную структуру сложного кобальтита $\text{YBaCo}_2\text{O}_{5.5}$

А.В. Руткаускас¹, Д.П. Козленко¹, Z. Jirak², С.Е. Кичанов¹, Е.В. Лукин¹, Б.Н. Савенко¹

¹*Объединённый институт ядерных исследований, Дубна, Россия*

²*Institute of Physics, Prague, Czech Republic*

Сложные оксиды кобальта проявляют множество различных физических свойств: гигантское магнитосопротивление, переходы диэлектрик – металл, орбитальное и зарядовое упорядочение и т. д. Изучение и объяснение которых является одним из приоритетных направлений физики конденсированных сред. Эти свойства могут найти широкое технологическое применение в качестве материалов для альтернативных источников энергии, катализаторов, электродов в топливных элементах, мембранах для сепарации кислорода, запоминающих устройств и т.д.

Кристаллическая и магнитная структура перовскитоподобного кобальтита была изучена методом нейтронной дифракции при давлениях до 4.8 ГПа и в температурном диапазоне 10 – 300 К.

Соединение $\text{YBaCo}_2\text{O}_{5.5}$ при нормальных условиях имеет орторомбическую структуру, пространственную группу Pmmm и характеризуется сосуществованием двух антиферромагнитных фаз 2с и G типов. Исследовано влияние высокого давления на кристаллическую и магнитную структуру $\text{YBaCo}_2\text{O}_{5.5}$. Установлено, что во всем исследуемом диапазоне давлений и температур сохраняется исходная орторомбическая структура с пространственной группой Pmmm. Так же обнаружено подавление магнитной фазы 2с при высоком давлении и уменьшение температур Нееля 2с-фазы и фазы с G-типом магнитного упорядочения. Это может быть связано со спиновым переходом ионов кобальта из высокоспинового состояния в низкоспиновое.

Работа поддержана грантами: РФФИ № 12-02-00794-а, госконтрактами №02.740.11.0542 и №16.518.11.7029 и Федеральными целевыми программами «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2012 годы» и «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 годы».

Исследование структурных изменений в молекулярном кристалле PyHBF_4 при высоком давлении

Я.И. Сагань^{1,2}, С.Е. Кичанов¹, Д.П. Козленко¹, J.W. Wąsicki³, W. Nawrociak³,
P. Czarnecki³, Б.Н. Савенко¹

¹Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

²Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев, Украина

³Университет им. А. Мицкевича, Познань, Польша

К числу актуальных задач современной физики конденсированного состояния относится изучение структуры и атомной динамики кристаллов, содержащих молекулярные ионы. Одними из таких соединений являются соли пиридина. Многие соли пиридина относятся к группе молекулярно-ионных кристаллов с межионными водородными связями. В зависимости от симметрии и размера анионов, эти соединения проявляют большое разнообразие интересных явлений – фазовые переходы, сегнетоэлектричество и динамический ориентационный беспорядок катионов пиридина. Научный интерес к исследованию солей пиридина связан с открытием сегнетоэлектрического состояния в PyHBF_4 при $T=238$ К. В данной работе были изучены изменения в кристаллической структуре PyHBF_4 при высоком давлении методом нейтронной дифракции на дифрактометре ДН-12 реактора ИБР-2 (г. Дубна, ОИЯИ).

Исследования были проведены при комнатной температуре и диапазоне давлений 0,1-1,3 ГПа. Установлено, что в соединении PyHBF_4 при высоких давлениях наблюдается структурный фазовый переход из ромбоэдрической фазы с пространственной группой $R\bar{3}m$ в моноклинную фазу с пространственной группой $P2_1$. Получены барические коэффициенты для параметров и объема элементарной ячейки тетрафторбората пиридина.

Работа поддержана грантом РФФИ №11-02-00416-а, госконтрактами №02.740.11.0542 и №16.518.11.7029 в рамках Федеральных целевых программ «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2012 годы» и «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 годы».

Структурное и магнитное двухфазные состояния шпинели $\text{ZnCr}_2\text{Se}_{4-x}$

Р.А. Садыков¹, А.М. Балагуров², В.Ю. Помякушин³, Г.Г. Шабунина⁴

¹ *Институт ядерных исследований РАН, Москва, Россия*

² *Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия*

³ *PSI, Viligen, Switzerland*

⁴ *Институт общей и неорганической химии им.Н.С. Курнакова РАН, Москва, Россия*

Методами рентгено- нейтронографии высокого разрешения исследованы структурное и магнитное состояния порошкового образца шпинели $\text{ZnCr}_2\text{Se}_{4-x}$. Рентгенографическое исследование проведено с использованием медного излучения. Обнаружено, что образец состоит из двух фаз близких по составу к ZnCr_2Se_4 , но отличающихся по параметру решетки. Магнитная структура обеих фаз представляет собой простую спираль, но с разными зависимостями изменения периода спирали как от температуры, так и от давления.

Спектр частот вольфрама при температурах 293-2400 К

В.А. Семенов, О.А. Дубовский, А.В. Орлов, Д.В. Савостин, В.В. Сударев

ГНЦ РФ - Физико-энергетический институт им. А.И. Лейпунского, Обнинск, Россия

Тезисы

1. Впервые в интервале температур от комнатной до 2400К измерены спектры неупругого рассеяния медленных нейтронов для тугоплавкого ($T_{пл} = 3410$ К) переходного металла VI-ой группы периодической системы элементов вольфрама (W).

2. Измерение спектров рассеянных нейтронов проводилось на время-пролетном спектрометре ДИН-2ПИ реактора ИБР-2 (Дубна). Нагревание образца осуществлялось с помощью высокотемпературного термостата TS3000 К.

3. Плоский образец W размером $0,15 \times 7 \times 8,4$ см³ устанавливался в рабочей камере термостата под углом 60° к направлению падающего пучка нейтронов на танталовом столике внутри цилиндрического танталового нагревателя с толщиной стенки 0,3 мм, который в свою очередь был окружен восьмью цилиндрическими тепловыми экранами из листового тантала толщиной 0,1 мм. В последних по размеру нейтронного пучка были прорезаны окна, закрытые танталом толщиной 0,05 мм.

4. Измерения были выполнены при начальной энергии нейтронов 18,7 мэВ в интервале температур образца 293 - 2400К. Энергетическое разрешение $\Delta E/E$ в области упругого рассеяния для этой энергии составляло 6-7%, среднее полное пропускание образца $W \sim 0,75$. Спектры рассеянных нейтронов регистрировались пятнадцатью He^3 -детекторами в интервале углов рассеяния от 28 до 134 градусов.

5. Из измеренных спектров неупруго рассеянных нейтронов методом последовательных итераций с учетом эффектов многофононного и многократного рассеяния нейтронов получены спектры частот кристаллической решетки вольфрама для температур измерения.

6. Проведены модельные расчеты спектра частот W. Полученные результаты сравниваются с литературными данными. Обсуждаются некоторые методические вопросы измерений.

Нейтронографические исследования магнитной структуры замещённых сложных оксидов кобальта

В.В. Сиколенко

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

В докладе представлены результаты нейтронографического исследования сложных оксидов кобальта с замещением редких земель (La; Pr, Sr; Ba) и частичного замещения Co на Mn и Fe. Определена магнитная и кристаллическая структуры, обсуждаются возможные механизмы магнитного взаимодействия ионов кобальта в разных спиновых и валентных состояниях.

Спектр частот вольфрама при температурах 293-2400 К

В.А. Семенов, О.А. Дубовский, А.В. Орлов, Д.В. Савостин, В.В. Сударев

ГНЦ РФ - Физико-энергетический институт им. А.И. Лейпунского, Обнинск, Россия

С использованием метода неупругого рассеяния медленных нейтронов впервые получены экспериментальные спектры частот кристаллической решетки вольфрама в интервале температур от комнатной до 2400 К. Измерения выполнены на времяпролетном спектрометре ДИН-2ПИ реактора ИБР-2 (ОИЯИ, Дубна). Проведены сравнения экспериментальных спектров частот с модельными расчетами.

Структурные изменения при отжиге радиационно-аморфизованных сплавов $R_{12}Fe_{82}B_6$ ($R=Nd, Er$)

А.Е. Теплых¹, Ю.Г. Чукалкин¹, А.Н. Пирогов¹, Н.В. Кудреватых²

¹Институт физики металлов УрО РАН, Екатеринбург, Россия

²ОМТТ НИИФПМ ИЕН УрФУ, Екатеринбург, Россия

Ранее в работе [1] нами были исследованы кристаллическая структура, магнитное упорядочение и магнитные свойства быстрозакаленных сплавов (БЗС) состава $R_{12}Fe_{82}B_6$ ($R = Nd, Er$) в исходном кристаллическом и аморфизованном состояниях. Аморфное состояние было получено облучением при температуре 340К быстрыми нейтронами флюенсом $1.2 \cdot 10^{20}$ н/см². До облучения, при 295 К в БЗС присутствует в основном кристаллическая фаза типа $Nd_2Fe_{14}B$ ($P4_2/mnm$). Эта фаза в сплаве $Nd_{12}Fe_{82}B_6$ обладает ферромагнитной структурой с магнитными моментами ионов Nd и Fe, ориентированными параллельно оси c , тогда как для БЗС $Er_{12}Fe_{82}B_6$ в фазе $Er_2Fe_{14}B$ реализуется ферримагнитный тип упорядочения магнитных моментов Er и Fe параллельно базисной плоскости. В результате облучения оба БЗС перешли в аморфное состояние. Ферро- и ферримагнитный типы порядков в них сохранились, но температура Кюри понизилась на 100 К в сплаве с Nd и на 200 К в сплаве с Er. Спонтанная намагниченность радиационно-аморфизованных сплавов при 5К примерно равна их намагниченности в кристаллическом состоянии, а их коэрцитивная сила, на два порядка меньше, чем она была до облучения.

Данная работа посвящена изучению структурных изменений радиационно-аморфизованного состояния БЗС, происходящих под воздействием изохронных отжигов.

Отжиги проводились в течение одного часа, ступенями через 25°С в диапазоне температур от 100 до 600°С. Нейтронографические исследования были проведены при комнатной температуре на дифрактометре Д-2, $\lambda = 1.805$ Å (реактор ИВВ-2М, г. Заречный). Расчет нейтронограмм проводился с помощью программного пакета Fullprof.

Обсуждаются особенности отжига аморфного состояния сплавов и кинетика рекристаллизации интерметаллидов $Nd_2Fe_{14}B$ и $Er_2Fe_{14}B$.

Работа выполнена по плану РАН (тема № 01.2.006 13394, шифр “Импульс”), при частичной поддержке Минобрнауки (Госконтракт №16.518.11.7032), Программы фундаментальных исследований Президиума РАН “Квантовые мезоскопические и неупорядоченные структуры” (Проекты № 12-П-2-1018 и № 12-П-2-1019 УрО РАН) и Программы фундаментальных исследований ОФН РАН “Нейтронные исследования структуры вещества и фундаментальных свойств материи” (Проект № 12-Т-2-1006 УрО РАН).

- [1] А.Е. Теплых, Ю.Г. Чукалкин, С.Г. Богданов, Ю.Н. Скрыбин, Н.В. Кудреватых, С.В. Андреев, А.С. Волегов, А.И. Козлов, Е. Чой, А.Н. Пирогов. Радиационно-аморфизованное состояние быстрозакаленных сплавов $R_{12}Fe_{82}B_6$ ($R=Nd, Er$). ФММ, 2012, том 113, № 6, с. 597–606.

Дифракционное исследование нового водородного гидрата, синтезированного при высоком давлении

В.К. Федотов¹, М.А. Кузовников¹, В.С. Ефимченко¹,
С.С. Агафонов², М. Tkacz³, А.С. Иванов⁴

¹ *Институт физики твердого тела РАН, Черноголовка, Россия*

² *РНИИ «Курчатовский институт», Москва, Россия*

³ *Institute of Physical Chemistry PAS, Warsaw, Poland*

⁴ *Institute Laue-Langevin, Grenoble, France*

В системе вода-водород при избыточном давлении водорода было известно три кристаллические фазы: кубическая sII (Fd-3m), ромбоэдрическая C₁ (R-3) и кубическая C₂ (Fd-3m), богатые водородом – 3.8, 1.8 и 11.1 вес.%, соответственно, [1-4]. В то время как равновесная растворимость водорода в исходном гексагональном льде низка и не превышает 0.11 вес.%. Недавно был обнаружен новый гидрат водорода, названный нами C₀ [5], в области давлений водорода 3.5 < P_{H₂} < 7.5 кбар, где ранее предполагался стабильным гидрат C₁.

Методом волюмометрии в камере поршень-цилиндр из бериллиевой бронзы была исследована область существования нового гидрата на Т-Р фазовой диаграмме системы H₂-H₂O и установлено, что линия фазового перехода C₀ ↔ C₁ проходит почти вертикально при P_{H₂} = 7.5 кбар до температуры плавления T = 24 °C. Был измерен малый объемный эффект превращения C₀ ↔ C₁ равный 0.3 %.

Метастабильная фаза C₀, полученная закалкой фазы высокого давления до температуры жидкого азота, исследована методами рентгеновской и нейтронной дифракции с использованием изотопического замещения водорода. Проведена оценка плотности закаленной фазы C₀ помещением изотопических образцов в жидкий кислород. Методом термодесорбции определено содержание водорода в гидрате C₀ равное 1.4 вес. %.

В результате фазового анализа всей совокупности порошковых данных предложена модель молекулярной структуры нового гидрата водорода C₀, тригональной симметрии (P3₁12), и определены все структурные параметры. Она отличается от структур фаз высокого давления льда и газовых гидратов, изученных до сих пор. По тригональной симметрии ячейки модель ближе к α-кварцу, но имеет более сложный базис из-за наличия водородных связей и дополнительного канала, частично свободного для заполнения молекулами газа.

Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных исследований ОФН РАН “Физика элементарных частиц, фундаментальная ядерная физика и ядерные технологии” (акад. В. А. Рубаков).

[1] W. Vos, L. Finger et al. Phys. Rev. Lett. **71**, 3150-3153 (1993).

[2] Yu. Dyadin, E. Larionov, A. Manakov. Zh. Struct. Khimii. **40**, 974-980 (1999).

[3] W. Mao, H. Mao et al. Science. **297**, 2247-2249 (2002).

[4] V. Efimchenko, V. Antonov et al. High Pressure Research. **26**, 439-443 (2006).

[5] V.S. Efimchenko, et al. Journal of Alloys and Compound. **509S**, S860-S863 (2011).

Литий-катионная проводимость и кристаллическая структура дифосфата лития $\text{Li}_4\text{P}_2\text{O}_7$

Е.А. Шерстобитова¹, В.И. Воронин¹, В.А. Блатов², Г.Ш. Шехтман³

¹Институт физики металлов УрО РАН, Екатеринбург, Россия

²Самарский государственный университет, Самара, Россия

³Институт высокотемпературной электрохимии УрО РАН, Екатеринбург, Россия

Ранее нами было показано, что для $\text{Li}_4\text{P}_2\text{O}_7$ [1] в интервале температур 930-1020 К литий-катионная проводимость достигает $(1-2) \times 10^{-1} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$. Кристаллическая структура высокотемпературной модификации $\text{Li}_4\text{P}_2\text{O}_7$ к настоящему времени не определена, а данные по структуре низкотемпературной формы противоречивы. Поэтому мы исследовали кристаллическую структуру $\text{Li}_4\text{P}_2\text{O}_7$ в интервале температур от комнаты до 1050 К и проанализировали возможные пути миграции проводящих катионов лития.

Образцы для исследований синтезировали согласно методике, описанной в [1]. Эксперименты по нейтронной дифракции проводили на высокоразрешающем порошковом дифрактометре HRPT (PSI, Switzerland) в интервале от 300 К до 1050 К. Структурные параметры определяли с использованием программы "Fullprof". Анализа карт катионной миграции был проведен с помощью программного пакета TOPOS [2].

Анализ нейтронограмм показал, что кристаллическая решётка $\text{Li}_4\text{P}_2\text{O}_7$ является триклинной пространственная группа $P-1$ и представляет каркасную структуру, образованную тетраэдрами LiO_4 и PO_4 . Последние связаны попарно через вершинные атомы кислорода, образуя жёсткие структурные единицы P_2O_7 . С ростом температуры возникает выраженное анизотропное расширение кристаллической решётки, связанное поворотами тетраэдров PO_4 . Максимальные изменения наблюдаются вблизи температуры фазового перехода 950 К. Симметрия решётки при переходе не меняется, элементарная ячейка остаётся триклинной, но наблюдаются ярко выраженные скачки в параметрах решетки, тогда как объем меняется плавно. При этой же температуре электрические характеристики $\text{Li}_4\text{P}_2\text{O}_7$ также изменяются скачкообразно: электропроводность возрастает с $3,16 \times 10^{-2}$ до $\sim 10^{-1} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$, энергия активации снижается с 159 до $\sim 80 \text{ кДж} \cdot \text{моль}^{-1}$.

Анализ карт катионной проводимости показал, что радиус большинства каналов, образованных атомами кислорода, вдоль различных направлений превышает 1.8 Å, что является достаточным для миграции катионов лития, т.е. проводимость является трёхмерной. Было получено, что как до, так и после температуры перехода размеры радиусов растут линейно с температурой, однако в точке фазового перехода размеры каналов резко увеличиваются, что и приводит к скачку в проводимости

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 11-03-00663а и М-7 президиума УрО РАН.

[1] Бурмакин Е.И., Шехтман Г.Ш., Апарина Е.Р., Коровёнок Е.С. // Электрохимия. 1992. Т.28. С. 1240.

[2] Blatov V.A. IUCr Comp. Comm. Newsletter 2006. Vol.7. P.4.

Biogenic ferrihydrite nanoparticles for biomedical applications

L. Anghel^{1,2}, M. Balasoiu^{1,3}, Yu.S. Kovalev¹, L.A. Ishchenko⁴

¹Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia

²Institute of Chemistry of ASM, Chisinau, Republic of Moldova

³Horia Hulubei National Institute of Physics and Nuclear Engineering, Bucharest, Romania

⁴Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Iron oxides/oxyhydroxides offer attractive possibilities in biomedicine. With an appropriate surface chemistry such nanoparticles have been widely used for numerous applications as magnetic resonance imaging contrast enhancement, tissue repair, drug delivery and cell separation, etc [1]. There are many different methods to prepare iron oxide nanoparticles [2] and among them, the biological synthesis using microorganisms could be a promising one because of its simplicity and non-toxicity.

Nanoparticles developed for drug delivery systems are strongly dependent of their surface characteristics. The purpose of the present work was to investigate the surface and volume morphology of biogenic ferrihydrite nanoparticles produced by a strain of *Klebsiella oxytoca* [3-9]. To this aim, Raman and Fourier transform infrared spectroscopies were employed to complete the structural characterization of studied nanoparticles. Resulted spectra showed that ferrihydrite nanoparticles produced by bacterium *Klebsiella oxytoca* are coated with a sugar biopolymer.

Results of this study are useful in understanding the behavior of these nanoparticles as a potential drug delivery system.

- [1] Y. Pathak, D. Thassu, *Drugs and the Pharmaceutical Science: drug delivery nanoparticles formulation and characterization* **191**, Informa Healthcare, New York, 2009, pp 61-68.
- [2] U. Schwertmann, R.M. Cornell, *Iron oxides in the laboratory: preparation and characterization*, Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim, 2007, pp 55-65.
- [3] S.V. Stolyar, O.A. Bayukov, et al., *Inorganic Materials* **42**, 7 (2006) pp. 763-768.
- [4] S.V. Stolyar, O.A. Bayukov, et al., *Inorganic Materials* **43** (2007) pp. 638-641.
- [5] Yu.L. Raikher, V.I. Stepanov, et al., *Phys. of Solid State* **52**, 2 (2010) pp. 298-305.
- [6] L.A. Ishchenko, S.V. Stolyar, et al., *Physics Procedia* **9** (2010) pp. 279-282.
- [7] M. Balasoiu, S.V. Stolyar, et al., *Rom. Journ. Phys.* **55**, 7-8 (2010) pp. 782-789.
- [8] M. Balasoiu, L.I. Ischenko, et al., *Optoelectron. Adv. Mater. – Rapid Commun.* **4**, 12 (2010) pp. 2136-2139.
- [9] S.V. Stolyar, O.A. Bayukov, et al., *Phys. of Solid State* **53**, 1 (2011) pp. 100-104.

Texture effects in ferrofluid based silicone rubber elastomer microstructure investigated by SANS

M. Balasoiu^{1,2}, V.T. Lebedev⁵, L. Almasy⁶, I. Bica³, Yu.L. Raikher⁴

¹*Horia Hulubei National Institute of Physics and Nuclear Engineering, Bucharest, Romania*

²*Joint Institute of Nuclear Research, Dubna, Russia*

³*Petersburg Nuclear Physics Institute, Gatchina, Russia*

⁴*Paul Scherrer Institute, Villigen, Switzerland*

⁵*West University of Timisoara, Department of Electricity and Magnetism, Timisoara, Romania*

⁶*Institute of Continuum Media Mechanics, Ural Branch of RAS, Perm, Russia*

In the present paper, results on small angle neutron scattering (SANS) experiments on the elastomer samples doped with magnetite nanoparticles performed on the SINQ time-of-flight spectrometer SANS II (PSI, Villigen) and on the Membrana facility in function at VVR reactor (PNPI, Gatchina) on ferrofluid based silicone-rubber elastomer samples in magnetic field and without field are presented.

The aim of present work is the small-angle neutron scattering examination of subtle structural features of the polymeric matrix and the ensemble of embedded ferroparticles as resulting from the conditions of preparation of ferroelastomers by the variation of ferroparticle concentration and the strength of external magnetic field applied during polymerization and their changes by application of an external magnetic field.

The data analyzed in earlier works [1-3] in experiments without applied magnetic field, evidences that embedding of ferroparticles into a polymer matrix does not disturb its large structures significantly. The application of an external field during the polymerization process induces the opposite effect, i.e. at a stronger field the structures are more pronounced. At a high content of magnetite (5.88 mass.%), under the change of the applied field we observe practically the same size of magnetic inclusions, ~2.3 nm. At the same time, the forward scattering intensity demonstrates a growth by 40% that should be attributed to the ordering in the particle ensemble (strengthening correlations along the field direction). A similar effect is found at moderate concentration of magnetite: at a practically constant size of scattering objects the forward intensity is enhanced by 40%. The characteristic spacing of ferroparticles remains at the same level ~15 nm. So, it is practically independent on the concentration and the field strength.

- [1] M. Balasoiu, V.T. Lebedev, D.N. Orlova, I. Bica, "Magnetic field and particle concentration competitive effects on ferrofluid based silicone elastomer microstructure", *Crystallography Rep.* **56**(7)(2011) 93-96.
- [2] M. Balasoiu, I. Bica, Yu.L. Raikher, E.B. Dokukin, L. Almasy, B. Vatzulik, A.I. Kuklin, „Particle Concentration Effects on the Ferrofluids based Elastomers Microstructure”, *Optoelectron. Adv. Mater. – Rapid Commun.* **5**(5) (2011) 523-526.
- [3] M. Balasoiu, V.T. Lebedev, D.N. Orlova, I. Bica, Yu.L. Raikher, *J. Phys.:Conf. Series* **351**(1)012014(9).

Fractal approach in the modeling of the magnetic nanoparticles influence on elastomer matrix from SAS data

M. Balasoiu^{1,2}, M.A. Balasoiu-Gaina^{1,3,4}, A.V. Rogachev¹, A. Zhigounov⁵, I. Bica⁶

¹*Joint Institute of Nuclear Research, Dubna, Russia*

²*National Institute of Physics and Nuclear Engineering, Bucharest, Romania*

³*Computational Mathematics and Cybernetics Faculty, Moscow State University, Moscow, Russia*

⁴*University Apollonia, Iasi, Romania*

⁵*Institute of Macromolecular Chemistry, ASCzR Prague*

⁶*West University of Timisoara, Department of Electricity and Magnetism, Timisoara, Romania*

Magnetic elastomers (ME's) represent a specific class of smart materials responding in a complicated way to the changes of external conditions.

These types of polymer nanocomposites are characterized by the coexistence of several different length scales: the average radius gyration of the polymer molecules (R_G), the average diameter of the nanoparticles ($2r$), and the average nearest-neighbor distance between the particles (d).

In the present paper the microstructure properties of a rubber elastomer matrix polymerized with ferrofluid are investigated with particle volume concentration variation by means of small-angle X-ray scattering experimental data and modeled using a fractal approach method.

Structure of mixed micellar solutions of classic surfactants study by SANS method

Rajewska Aldona

Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia

The mixed systems of nonionic classic surfactant C14E7 (heptaethylene glycol monotetradecyl ether) ($c=0.17\%$, dilute regime) with add of small amounts of two cationic surfactants CTABr (cetyltrimethylammonium bromide) and CTACl (cetyltrimethylammonium chloride) in heavy water solutions were investigated at room temperature with small-angle neutron scattering (SANS) method on spectrometer "YuMO" of the IBR-2 on pulsed neutron source at FLNP, JINR in Dubna (Russia). Measurements have covered Q range from 8×10^{-3} to 0.4 \AA^{-1} . The micellar solutions were prepared in D₂O since the contrast between the micelles and the solvent in neutron experiments is better with D₂O than with H₂O. It was obtained as the result that the shape of micelles changes depending on ionic surfactant concentration in mixed solutions. At lower concentrations of cationic surfactants in mixed system micelles are ellipsoidal but for higher concentrations of CTABr micelles are rather cylindrical. For calculation results from SANS experiment program PCG 2.0 of Glatter O. and co-workers from University of Graz (Austria) were used.

Neutron Diffraction Study of LiFePO₄ Cathode Material Doped With Vanadium Oxide

D. Sangaa^{1,3}, A.M. Balagurov¹, I.A. Bobrikov¹, V.G. Simkin¹, C.H. Lee², C.W. Hu²,
T.Y. Chen², G. Sevjidsuren³

¹ *Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia*

² *National Tsing-Hua University, Hsinchu, Taiwan*

³ *Institute of Physics and Technology, Ulaanbaatar, Mongolia*

LiFePO₄ (LFP) is one of the most promising cathode materials for the next generation of lithium-ion battery because its appealing electrochemical features including excellent chemical/thermal stability, low material cost, non-toxicity, and a high theoretical capacity. The doping of a heteroatom could promote the performance of LiFePO₄ at high current due to the enlarged lattice volume that provides more space for lithium-ion transfer. The crystal evolutions of materials upon varying charge and discharge conditions is of essential importance in terms of depicting the effects of V₂O₃ (VO) nano-grains on Li trajectories in LFP.

Two samples of VO doped LFP (LiFePO₄+x·VO) with $x = 0$ and 0.0075 were measured with HRFD instrument at the IBR-2 pulsed reactor at room and low temperatures. Neutron diffraction patterns were measured by several detectors: high-resolution back-scattering (up to 3.7 Å), low-resolution (up to 4.5 Å), and PSD at $2\theta = 15^\circ$ (up to 16 Å).

The refined atomic coordinates of both samples are in very good agreement with earlier known data. It means that there is no noticeable structural transformation during temperature lowering and owing to introducing of VO. The only marked difference between two samples is in level of microstrains in crystallites: they are at the conventional level for the $x = 0$ sample and are 1.5 higher for the $x = 0.75\%$ sample.

The magnetic structure of the LFP compound, which is known as antiferromagnetic, has been confirmed as well with the $T_N \approx 50$ K.

Транспортировка нейтронов сверхнизких энергий по гибким полихлорвиниловым нейтроноводам и некоторые возможности их применения

С.С. Арзуманов¹, Л.Н. Бондаренко¹, П. Гельтенборт², Н.Ф. Мирон¹, В.И. Морозов¹,
В.В. Несвижевский², Ю.Н. Панин¹, А.Н. Стрепетов¹, С.М. Чернявский¹, Д.Ю. Чувилин¹

¹ НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия

² Институт Лауэ-Ланжевена, Гренобль, Франция

Представлены экспериментальные результаты по транспортировке ультрахолодных и очень холодных нейтронов по гибким полихлорвиниловым трубкам. Измерены коэффициенты пропускания трубок, а также сделаны экспериментальные оценки изменения спектров транспортируемых нейтронов в зависимости от длины трубок и формы их изгиба.

Обсуждаются возможности использования гибких полихлорвиниловых трубок в фундаментальных и прикладных исследованиях. В частности, для создания миниатюрных источников тепловых нейтронов и других различных типов излучений, для доставки нейтронов к злокачественным опухолям в методе нейтрон-захватной терапии при лечении онкологических заболеваний.

Нейтронная фурье-дифрактометрия высокого разрешения: опыт работы

А.М. Балагуров

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

Введенный в регулярную эксплуатацию в 1994 году на реакторе ИБР-2 Фурье-дифрактометр высокого разрешения (ФДВР) [1] является уникальной установкой для проведения нейтронных дифракционных экспериментов, требующих разрешающей способности по межплоскостному расстоянию на уровне 0.001 в широком интервале d_{hkl} .

ФДВР создавался международной коллаборацией, включающей сотрудников ПИЯФ (Гатчина), ЛНФ ОИЯИ (Дубна) и VTT (Финляндия) и явился первым в мире фурье-дифрактометром на высокопоточном импульсном источнике нейтронов. Уже в первых экспериментах было подтверждено основное достоинство фурье-дифрактометра – возможность получения исключительно высокого разрешения на сравнительно короткой пролетной базе (~20 м в случае ФДВР). Эта особенность фурье-дифрактометрии особенно важна для импульсных источников с длинным импульсом. Именно поэтому фурье-дифрактометр рассматривается как один из немногих альтернативных вариантов получения высокого разрешения на будущих spallation-источниках типа ESS.

За время эксплуатации ФДВР на нем проведены многочисленные эксперименты по прецизионному анализу структуры поликристаллов, изучению фазовых переходов в поли- и монокристаллах, определению остаточных внутренних напряжений в объемных изделиях; сформировался широкий круг пользователей из России и других стран. Рекордная разрешающая способность ФДВР оказалась принципиально важной для многих выполненных на нем исследований [2-8].

Существует четкая программа модернизации некоторых узлов ФДВР, которая позволит заметно улучшить его параметры, прежде всего светосилу, и стабильность работы. Ее реализация приведет к расширению возможностей ФДВР, увеличению числа проводимых экспериментов, повышению прецизионности получаемой структурной информации.

- [1] V.L. Aksenov, A.M. Balagurov, V.G. Simkin, A.P. Bulkin, V.A. Kudrjashev, V.A. Trounov, O. Antson, P. Hiismaki, A. Tiitta “Performance of the high resolution Fourier diffractometer at the IBR-2 pulsed reactor” J. of Neutron Research. **5**, 181 (1997).
- [2] A.M. Balagurov, V.Yu. Pomjakushin, V.G. Simkin, A.A. Zakharov “Neutron diffraction study of phase separation in $\text{La}_2\text{CuO}_{4+y}$ single crystals” Physica C, **272**, 277 (1996).
- [3] A.M. Abakumov, V.L. Aksenov, V.A. Alyoshin, E.V. Antipov, A.M. Balagurov, D.A. Mikhailova, S.N. Putilin, M.G. Rozova “Effect of fluorination on the structure and superconducting properties of the Hg-1201 phase” Phys. Rev. Lett., **80**, 385 (1998).
- [4] A.M. Balagurov, V.Yu. Pomjakushin, D.V. Sheptyakov, V.L. Aksenov, N.A. Babushkina, L.M. Belova, O.Yu. Gorbenko, A.R. Kaul “A-cation size and oxygen isotope substitution effects on $(\text{La}_{1-y}\text{Pr}_y)_{0.7}\text{Ca}_{0.3}\text{MnO}_3$ structure” Eur. Physical J. B, **19**, 215 (2001).
- [5] A.M. Balagurov, V.Yu. Pomjakushin, D.V. Sheptyakov, V.L. Aksenov, P. Fischer, L. Keller, O.Yu. Gorbenko, A.R. Kaul, N.A. Babushkina “Long-scale phase separation versus homogeneous magnetic state in $(\text{La}_{1-y}\text{Pr}_y)_{0.7}\text{Ca}_{0.3}\text{MnO}_3$: A neutron diffraction study” Phys. Rev. B, **64**, 024420 (2001).
- [6] B.M. Bulychev, R.V. Shpanchenko, E.V. Antipov, D.V. Sheptyakov, S.N. Bushmeleva, A.M. Balagurov “Synthesis and Crystal Structure of Lithium Beryllium Deuteride Li_2BeD_4 ” Inorg. Chem., **43**, 6371 (2004).
- [7] А.М. Балагуров, И.А. Бобриков, В.Ю. Помякушин, Д.В. Шептяков, Н.А. Бабушкина, О.Ю. Горбенко, М.С. Картацева, А.Р. Кауль “Магнито-структурное фазовое расслоение и гигантский изотопический эффект в $\text{R}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{MnO}_3$ ” Письма в ЖЭТФ, **82**, 672 (2005).
- [8] А.М. Балагуров, И.А. Бобриков, Д.В. Карпинский, И.О. Троянчук, В.Ю. Помякушин, Д.В. Шептяков “Последовательные структурные фазовые переходы в $\text{Pr}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{CoO}_3$ в диапазоне 10 – 1120 K” Письма в ЖЭТФ, **88**, 608 (2008).

Исследование диффузии в жидких литии и свинце методом квазиупругого когерентного рассеяния нейтронов

Н.М. Благовещенский, А.Г. Новиков, В.В. Савостин

ГНЦ РФ – Физико-энергетический институт им. А.И. Лейпунского, Обнинск, Россия

Известна практическая значимость исследований жидкого лития и свинца применительно к проблемам ядерной инженерии. Кроме того, литий является перспективным кандидатом на роль охлаждающего агента в термоядерных установках и охлаждающей мишенью в дейтон – нейтронном конвертере *IFMIF*. Примерно равные величины когерентного и некогерентного сечений рассеяния нейтронов ($\sigma_{\text{coh}} = 0.62$ бн и $\sigma_{\text{inc}} = 0.78$ бн) сделали возможным изучить температурную зависимость коэффициента диффузии $D(T)$ жидкого лития в нейтронном эксперименте одновременно в областях переданного импульса, где имеет место преимущественно когерентное рассеяние (вблизи максимума структурного фактора $S(Q)$), и где преобладает некогерентное квазиупругое рассеяние (малые Q). Показано, что получение $D(T)$ жидких металлов из данных по квазиупругому когерентному рассеянию нейтронов имеет ряд положительных моментов: во – первых, формула для нахождения $D(T)$ наглядна и относительно проста; во – вторых, линия рассеяния, из ширины которой определяется $D(T)$, в области де – Жена является узкой и максимально интенсивной, что заметно уменьшает погрешность в определении коэффициента диффузии.

В данной работе представилась возможность отверить методику извлечения *коэффициента диффузии и продольной вязкости* по нейтронным данным для жидкого лития, обладающего как когерентным, так и некогерентным сечением рассеяния и затем представить уточняющее значение коэффициента диффузии для свинца, в случае которого нахождение $D(T)$ по данной методике представляется единственно возможным вследствие того, что свинец является чисто когерентным рассеивателем нейтронов ($\sigma_{\text{coh}} = 10.82$ бн).

Отмечается отличное согласие полученных нами величин $D(T)$ с данными других авторов для лития [1] и свинца [2], а также с Аррениусовской табличной зависимостью [3].

В работе также представлен расчет $D(T)$ для лития по формуле Кубо для автокорреляционной скоростной функции, рассчитанной методом молекулярно – динамического моделирования по программе *MOLDY*. Согласие с другими данными следует признать также весьма хорошим.

Работа поддержана грантом РФФИ № 10-08-00266-а.

- [1] J. Casas, D.J. Gonzalez, L.E. Gonzalez et al.: Phys.Rev.**B62** (2000) 12095.
- [2] M. Tanigaki, Y. Toyota et al. Mutual diffusion coefficient in molten lead – bismuth mixtures. J. Chem. Engn. Jap. **16**(2) (1983) 92.
- [3] Handbook of Thermodynamic and Transport Properties of Alkali Metals. Ed. R.W.Ohse. Oxford: Blackwell, 1985, 985 p.

Электроника кольцевого 96-ти канального нейтронного детектора

А.А. Богдзель

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

Разработана и изготовлена аналоговая электроника и электроника накопления для 96-ти канального кольцевого детектора на основе He-3 . Электроника выполнена в стандарте NIM. Используется оптический канал связи и USB интерфейс для связи с компьютером.

Использование реакторных нейтронов для исследования радиационной стойкости полупроводников материалов АП-BV в сенсорах магнитного поля

И.А. Большакова⁴, С.А. Куликов², Р.Ф. Коноплева¹, В.А. Чеканов¹, И.С. Васильевский³,
Ф.М. Шурыгин⁴, Е.Ю. Макидо⁴, I. Duran⁵, А.П. Штабалюк⁴

¹ Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия

² Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

³ Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия

⁴ Национальный университет «Львовская политехника», Львов, Украина

⁵ Institute of Plasma Physics ASCR, v.v.i., Assoc. EURATOM/IPP.CR, Prague, Czech Republic

Полупроводниковые материалы группы АП-BV и их твердые растворы – это функциональные материалы сенсорной электроники. Для сенсоров физических величин – температуры, деформации, магнитных и электрических полей – широко используются бинарные соединения InSb, InAs, GaAs.

Коллектив авторов задался целью создать радиационно стойкие материалы для сенсоров магнитного поля, работоспособные в условиях высоких флюенсов нейтронов и предназначенные для использования в системах магнитной диагностики в термоядерной энергетике, ускорительной технике, а также в радиационных поясах Земли на орбитах космических аппаратов.

В работе представлены результаты тестирования в нейтронных потоках микрокристаллов и тонких плёнок InSb, InAs и GaAs, легированных комплексом примесей, обеспечивающих повышение их радиационной стойкости.

Испытания проводились в нескольких исследовательских ядерных реакторах: в реакторе ВВР-М (ПИЯФ, Гатчина) – до самых высоких флюенсов $7 \cdot 10^{18}$ н·см⁻², а также в реакторах ИБР-2 (ОИЯИ, Дубна) и LVR-15 (NRI, Řež, Czech Republic) – до флюенсов 10^{17} н·см⁻². Потоки нейтронов в этих реакторах отличаются энергетическим спектром нейтронов.

Для проведения испытаний до высоких нейтронных флюенсов была создана специальная аппаратура, позволяющая проводить измерения основных параметров исследуемых образцов материалов в процессе их облучения, так называемые on-line исследования.

В результате проведенных исследований было показано, что антимонид и арсенид индия, легированные комплексом определённых примесей до оптимальной концентрации носителей заряда, могут стать достаточно стабильными в условиях облучения реакторными нейтронами: изменения не превышали 0,04% при флюенсах нейтронов $1 \cdot 10^{15}$ н·см⁻², 0,8% при флюенсах $3 \cdot 10^{16}$ н·см⁻², около 5% при флюенсах $1 \cdot 10^{17}$ н·см⁻² и 10% при высоких флюенсах $1 \cdot 10^{18}$ н·см⁻².

Полученные результаты позволили создать на основе радиационно стойких гетероструктур InSb/i-GaAs аппаратуру для диагностики магнитных полей, которая успешно использовалась в одном из самых больших в мире термоядерных реакторов JET в Великобритании.

Изучение природы полиаморфных фазовых переходов в наноразмерных углеродных системах

П.А. Борисова, С.С. Агафонов, В.П. Глазков, В.А. Соменков

НИИ «Курчатовский институт», Москва, Россия

Недавние высокотемпературные исследования аморфных фуллеритов C_{60} и C_{70} показали, что в наноразмерных углеродных структурах переход между стабильными состояниями: аморфным фуллеритом и аморфным графитом – происходит через промежуточную высокотемпературную аморфную фазу [1, 2]. Целью этой работы является изучение характера полиаморфных переходов в высокотемпературных аморфных фазах C_{60} и C_{70} и взаимодействия между собой различных аморфных углеродных фаз.

Аморфные фазы C_{60} и C_{70} получали при помощи механоактивации в шаровой планетарной мельнице типа Fritsch. Исследования проводились с помощью нейтронной, рентгеновской дифракции, дифференциальной сканирующей калориметрии, рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии и других смежных исследований. Получены данные о высокотемпературных эволюциях C_{60} и C_{70} , в процессе которых происходят структурные изменения исходных аморфных фуллеритов и о влиянии на полиаморфный переход других углеродных материалов (наноалмаз, аморфный графит).

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 09-02-00464а, № 10-02-00176а).

[1] С.С. Агафонов, В.П. Глазков, И.Ф. Кокин, В.А. Соменков, ФТТ **1245**, 52 (2010).

[2] P.A. Borisova, S.S. Agafonov, V.P. Glazkov, N.P. D'yakonova, V.A. Somenkov, Crystallography Reports **39**, 56 (2011).

Исследование спонтанного перехода мультислойных мембран ДМФХ в одиночные везикулы в присутствии ионов Ca^{2+} в жидкой фазе

Ю.Е. Горшкова¹, А.И. Куклин^{1,2}, В.И. Горделий^{1,2,3,4}

¹ Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

² Московский физико-технический институт, Долгопрудный, Россия

³ Институт структурной биологии, Гренобль, Франция

⁴ Институт структурной биологии, Юлих, Германия

Межмембранное расстояние в условии равновесия системы определяется Ван дер Ваальсовыми, электростатическими, а в случае жидкой фазы и ондуляционными силами [1]. Суперпозиция этих сил приводит к глобальному энергетическому минимуму, который может быть сдвинут до бесконечности при изменении баланса сил. Это, в свою очередь, означает, что переход имеет резкий характер [2]. Однако в жидкой фазе принцип суперпозиций в присутствии ондуляций не работает. Причина состоит в том, что в этом случае различные части соседних мембранных поверхностей расположены на неравном расстоянии.

При маленьких концентрациях (около нескольких mM) CaCl_2 периодические мультислойные мембраны испытывают резкий переход в несвязанное состояние. Детально этот переход никогда не изучался. Более того, ранее были изучены только мембраны в гель фазе. Явление представляет огромный интерес с точки зрения физики межмембранных взаимодействий. В частности, для проверки теории, предсказывающей непрерывный характер таких переходов для мембран, находящихся в жидкой фазе.

Поскольку предсказанное явление представляет значительный интерес для статистической физики мембран, мы провели детальное исследование влияния CaCl_2 (электростатического отталкивания) на структуру и взаимодействия мембран в жидкой L_α фазе с помощью малоуглового рассеяния нейтронов. Измерения проведены для малых концентраций ДМФХ (C_{lip}) в растворе $\text{CaCl}_2/\text{D}_2\text{O}$ (0.5% и 1% wt/wt) при $T=55^\circ\text{C}$. Определены зависимости периода повторяемости (используя мультислойные липосомы) и толщины мембран (используя одиночные везикулы) от концентрации кальция ($C_{\text{Ca}^{2+}}$). Впервые детально изучено поведение межмембранного расстояния в области перехода для мембран в жидкой фазе. Показано, что переход носит непрерывный характер. Определена критическая концентрация ионов кальция в L_α фазе (~ 0.4 mM для $C_{lip}=1\%$ wt и ~ 0.33 mM для $C_{lip}=0.5\%$ wt), при которой система переходит из связанного состояния в несвязанное. Показано, что наблюдаемый переход сопровождается разрушением ламелярной структуры мультислойных мембран и образованием одиночных везикул. Рассчитанные величины толщин липидного бислоя при $C_{\text{Ca}^{2+}} \geq 0.4$ mM имеют одинаковое значение ($d_b=46$ Å) как для одиночных везикул, приготовленных методом экструдирования, так и для спонтанно образованных из мультислойных ДМФХ мембран.

[1] J.N. Israelachvili, and H. Wennerstrom. 1992. Entropic forces between amphiphilic surfaces in liquids. J. Phys. Chem. 96: 520-531.

[2] R. Lipowsky. 1995. Generic interection of flexible membranes. In Handbook of Biological Physics.V 1B:521-60.

Радиационная стабильность чистых фуллеренов C₆₀ и C₇₀ при облучении нейтронами реакторного спектра

В.Т. Лебедев, Ю.С. Грушко, В.П. Седов, В.А. Шилин, В.С. Козлов, С.П. Орлов,
П.А. Сушков, С.Г. Колесник, А.А. Сжогина, В.В. Шабалин

Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия

Знание радиационной стабильности фуллеренов при облучении в реакторе чрезвычайно важно при определении оптимальных условий облучения при получении медицинских радиопрепаратов. Очень важно, что при использовании радиометаллофуллеренов в качестве медицинских препаратов радиоактивный изотоп защищен углеродной оболочкой фуллерена от химической и биохимической атаки и, таким образом, не проявляет своей химической токсичности. Радиационная стабильность важна, поскольку самый удобный и дешевый метод получения радиометаллофуллеренов заключается в активации стабильных металлофуллеренов тепловыми нейтронами в реакторе. Однако, такое облучение неизбежно сопровождается частичным разрушением исходного материала быстрыми нейтронами как правило сопутствующими тепловым.

Ранее мы исследовали степень разрушения фуллерена C₆₀ и металлофуллерена Sm@C₈₂ [1] при двухчасовом облучении в интегральном потоке тепловых и эпитепловых нейтронов $3,8 \cdot 10^{13} \text{сек}^{-1} \cdot \text{см}^{-2}$, (кадмиевое число ~ 9). Результаты показали, что выживаемость (survivability) в этих условиях фуллерена C₆₀ составляет 90%, а Sm@C₈₂ – 80%. Эти результаты вдохновили нас, так как для многих медицинских радиоизотопов сечения активации очень велики и 2-х часового облучения вполне достаточно для приготовления терапевтической дозы. Позднее мы повторно проверили эти полученные результаты и прекрасно их подтвердили. Данные по выживаемости C₆₀ были также подтверждены в [3], а по Sm@C₈₂ в [2].

В настоящей работе мы исследовали зависимость процента выживаемости фуллеренов C₆₀ и C₇₀ при их облучении в реакторе в зависимости от флюэнса нейтронов с энергией $> 5 \text{ keV}$. Результаты показали достаточную стабильность этих фуллеренов при значениях флюэнса, приемлемых для производства терапевтически значимых количеств радиометаллофуллеренов. Неожиданной оказалась относительно большая стабильность фуллерена C₇₀ в сравнении с C₆₀ во всем интервале изученных флюэнсов.

- [1] Yu. Grushko, E.G. Alekseev, V.V. Voronin, S.G. Kolesnik, S.N. Kolesnik, T.M. Pershikova, *Molecular Materials*, v. 7, 115 (1996).
- [2] Yu.S. Grushko, M.A. Khodorkovski, V.S. Kozlov, V.A. Shilin, S.A. Grachev, T.O. Artamonova, *Fullerenes, Nanotubes, and Carbon Nanostructures*, 14; 249-259, 2006.
- [3] Lawrence, K.L.S., Ehrhardt G.J., Cagle D.W., Thrash T.P., Wilson L.J. *In "Fullerenes: Recent Advances in the Chemistry and Physics of Fullerenes and Related Materials"*, The Electrochemistry Society, Vol.2, 66-71 (1995).

Мезоструктура и фрактальные свойства прозрачных стекол на основе диоксида циркония

Н.Н. Губанова¹, А.Е. Баранчиков², Г.П. Копица¹, В.К. Иванов², А. Феоктистов³

¹Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия

²Институт общей и неорганической химии им.Н.С. Курнакова РАН, Москва, Россия

³Jülich Centre for Neutron Science, Garching, Germany

Прозрачные стёкла на основе аморфного диоксида циркония считаются крайне перспективными материалами для создания фотохромных устройств, каталитических систем, химических сенсоров. Так же, эти материалы можно использовать в качестве матрицы для термостойких люминесцентных нанокompозитов и нелинейных оптических устройств, лазеров.

В данной работе были синтезированы прозрачные пористые стекла на основе диоксида циркония, не содержащие стеклующего компонента – диоксида кремния. Методами малоуглового рассеяния нейтронов (МУРН) и порошковой рентгеновской дифракции (РФА), а также низкотемпературной адсорбции азота (БЭТ) была исследована мезоструктура стекол на основе диоксида циркония, синтезированных с помощью золь-гель метода из органических растворов пропилата циркония (IV), с использованием азотной кислоты в качестве одного из гидролизующих компонентов.

Измерения МУРН проводились на установке малоуглового рассеяния нейтронов KWS1 (reactor FRM II, Jülich Centre for Neutron Science, Garching, Germany) на длине волны нейтронов $\lambda = 0.45$ нм с $\Delta\lambda/\lambda = 10\%$. Использование трех дистанций образец-детектор $SD = 2, 8$ и 20 м позволяло измерять интенсивность рассеяния нейтронов в диапазоне переданных импульсов $3 \cdot 10^{-2} < q < 4.3$ нм⁻¹. Рассеянные нейтроны регистрировались двумерным позиционно-чувствительным ³He детектором.

Комплексный анализ полученных данных позволил установить существенное влияние условий синтеза на мезоструктуру стекол, их фрактальную размерность, а также на размер кластеров.

Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН №24 «Фундаментальные основы технологии наноструктур и наноматериалов» и грантом РФФИ (12-03-31627).

Высокотемпературная установка для нейтронных исследований

А.И. Гуреев¹, В.П. Глазков¹, В.А. Ульянов², В.А. Трунов², Р.П. Дмитриев²

¹ *НИИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия*

² *Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия*

Разработана, изготовлена и испытана установка для исследования образцов при температуре до 1150° К в ёмкости, наполненной гелием.

Возможный диаметр ампулы образца Ø14 мм, длина 45 мм.

Стабилизация температуры $\pm 0,5\%$.

Испытание проводилось на реакторе ИР-8 с установкой на нейтронный дифрактометр «Диск».

Конструкция установки позволяет производить быструю замену образцов, благодаря специальному вертикальному каналу (шахте) для размещения образцов. При замене образцов не требуется демонтаж конструктивных элементов и нарушение режимов работы оборудования установки.

Разогрев образцов ведется с помощью специальных нагревателей из ванадия, находящихся в вакуумном объеме. Контроль за состоянием оборудования, вакуумом и температурой образца ведется дистанционно, с помощью специальной компьютерной программы. Безопасность обеспечивается водяным охлаждением корпуса нагревателей и наружных поверхностей постоянным контролем параметров и расхода воды, наличием блокировок.

Исследование свойств наночастиц силикат-гидрата кальция гидратированных цементных композиций методом малоуглового рассеяния нейтронов

А.М. Гурьянов¹, С.Ф. Коренькова¹, В.М. Лебедев², В.Т. Лебедев², Ю.В. Сидоренко¹

¹ Самарский государственный архитектурно-строительный университет, Самара, Россия

² Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия

При гидратации цементного клинкера безводные минеральные составляющие превращаются в соответствующие кристаллогидраты. Преобладание в портландцементном клинкере соединений CaO и SiO_2 приводит к тому, что в данном процессе определяющее значение имеет образование частиц силикат-гидрата кальция (C-S-H), являющихся классом соединений переменного состава, подчиняющегося условной формуле $x\text{CaO} \cdot y\text{SiO}_2 \cdot z\text{H}_2\text{O}$, где x , y и z – молярные доли при основности $\text{C/S} = 0,5 \div 3,0$. В результате твердения цемента образуется сложный гелеобразный каркас из наночастиц C-S-H. При этом меняется содержание различных гидратных новообразований, а характерный масштаб структур переходит от наноуровня (гелевая структура гидратных новообразований) на микроуровень, соответствующий размеру образующихся цементных частиц. Процессы структурирования наночастиц C-S-H при гидратации влияют на свойства формируемого цементного камня.

В данной работе методом малоуглового рассеяния нейтронов исследовалась динамика структурных изменений образцов гидратированных цементных композиций как на основе бездобавочного портландцемента, так и модифицированного различными нанодобавками (шламами техногенного происхождения и углеродными наноматериалами) в зависимости от времени (до 6 месяцев). Измерения проводились на дифрактометре «Мембрана-2», установленном на реакторе ВВР-М Петербургского института ядерной физики. Длина волны нейтронов $\lambda = 0,3 \text{ nm}$ при ширине линии $\Delta\lambda/\lambda = 0,3$. Диапазон передаваемых импульсов $q = (4\pi/\lambda)\sin(\theta/2)$ от $0,03 \text{ nm}^{-1}$ до $0,8 \text{ nm}^{-1}$. Рассеянные на образцах нейтроны регистрировались 41-канальным ^3He -детектором в интервале углов $-2^\circ \leq \theta \leq +2^\circ$.

Сечения рассеяния $\sigma(q)$, отнесенные к единице объема исследуемого вещества и к единичному телесному углу, как функции переданного нейтронного импульса q , получались из экспериментальных спектров малоуглового рассеяния с учетом фона и вклада прошедшего через образец пучка без взаимодействия с ним (трансмиссии) при нормировке данных на интенсивности рассеяния для стандартного образца с известным сечением ($1 \text{ mm H}_2\text{O}$). Фурье-преобразованием из полученных экспериментальных данных для сечений рассеяния нейтронов восстанавливались корреляционные функции $G(R)$ распределения рассеивающих объектов в диапазоне расстояний $0 \div 100 \text{ nm}$.

В работе прослеживается динамика изменений во времени корреляционных функций рассеивающих объектов. Получены количественные характеристики роста наночастиц C-S-H в цементных композициях в процессе гидратации. Получающаяся в экспериментах степенная зависимость $\sigma \sim q^{-n}$ является типичной для фрактальных структур. Для области малых значений передаваемых импульсов, соответствующих большим расстояниям, $n = D$, а для области, соответствующей малым расстояниям, $n = 6 - D_s$, где D и D_s – размерности объемного и поверхностного фракталов соответственно. Для исследуемых цементных композиций фрактальные размерности $D \approx D_s$ и принимают значения в диапазоне от 2,3 до 2,7. Это позволяет сделать вывод о том, что исследованные цементные композиции образованы из фрактальных кластеров. Отмечается уменьшение фрактальной размерности при увеличении срока твердения цементных композиций.

Кинетика роста кластеров в полярных растворах фуллеренов: исследование раствора C_{60} /NMP

Н. Жаргалан^{1,2}, Т.В. Тропин¹, М.В. Авдеев¹, О.А. Кизима^{1,3}, Д. Сангаа^{1,2}, В.Л. Аксенов^{1,4}

¹ Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

² Институт физики и технологии, Академия наук Монголии, Улан-батор, Монголия

³ Киевский государственный университет им. Т. Шевченко, Киев, Украина

⁴ НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия

Большой интерес к исследованиям полярных растворов фуллерена C_{60} обусловлен перспективой практических применений, в том числе в биомедицине. Дополнительный научный интерес вызывают различные эффекты, наблюдаемые в растворах C_{60} – такие как сольватохромный эффект, аномальная зависимость растворимости от температуры и образование и рост кластеров [1]. В настоящее время наибольшее количество экспериментальных данных по агрегации и комплексообразованию накоплено для раствора C_{60} в полярном азотсодержащем растворителе N-метилпирролидоне (NMP) [1-3]. Данный раствор исследовался методами УФ-Вид спектроскопии, динамического светорассеяния, масс-спектрометрии и малоуглового рассеяния нейтронов (МУРН). Показано, что в C_{60} /NMP наблюдается медленный рост крупных кластеров фуллерена (размеры до 500 нм), а также имеет место образование комплексов с переносом заряда C_{60} -растворитель. Предложены теоретические модели для описания кинетики роста кластеров и комплексообразования в растворе C_{60} /NMP [1,4,5]. Численное решение системы кинетических уравнений в рамках предложенных моделей выполнено только для начальных стадий эволюции раствора.

В настоящей работе продолжено моделирование кинетики агрегации фуллерена C_{60} в растворе C_{60} /NMP с помощью системы кинетических уравнений сегрегации. Выполнен расчет функции распределения кластеров по размерам в C_{60} /NMP на всем временном интервале эволюции системы. В рамках предложенной ранее модели [5] получены зависимости среднего размера кластеров C_{60} , концентраций свободных молекул фуллерена и комплексов C_{60} -растворитель от времени. На основании полученных данных выполнен модельный расчет кривых МУРН для раствора C_{60} /NMP на разных стадиях роста кластеров.

[1] М.В. Авдеев, В.Л. Аксенов, Т.В. Тропин, ЖФХ, т. 84, №8, с. 1405-1416, 2010;

[2] О.А. Kyzyma, M.V. Korobov, M.V. Avdeev, V.M. Garamus, V.I. Petrenko, V.L. Aksenov, L.A. Bulavin, Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures, Vol. 18, pp. 458-461, 2010.

[3] О.А. Kyzyma, M.V. Korobov, M.V. Avdeev, V.M. Garamus, S.V. Snegir, V.I. Petrenko, V.L. Aksenov, L.A. Bulavin, Chem. Phys. Lett., Vol. 493, pp. 103, 2010.

[4] Т.В. Тропин, М.В. Авдеев, О.А. Кизима, В.Л. Аксенов, Phys. Status Solidi B, 247, Nos. 11-12, 3022-3025, 2010.

[5] Т.В. Тропин, М.В. Авдеев, О.А. Кизима, Р.А. Yeremin, Н. Жаргалан, М.В. Коробов, В.Л. Аксенов, Phys. Stat. Solidi. B, 248, No. 11, pp. 2728-2731, 2011.

Использование фольги с током в качестве прерывателя пучка поляризованных нейтронов во время-пролетном методе измерения спектров

Л.А. Аксельрод, В.Н. Забенкин, Г.П. Гордеев, Г.П. Диденко, А.А. Сумбатьян, И.М. Лазебник

Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия

В настоящее время в нейтронных исследованиях широко применяется времяпролетный метод измерения спектров. При этом нейтронные импульсы создаются прерывателями, в качестве которых выступают механические устройства.

Внедрение в практику нейтронных исследований поляризованных нейтронов позволяет отказаться от механических прерывателей. В этом случае появляется возможность получать модуляцию интенсивности нейтронов с помощью магнитных полей, создаваемых тем или иным источником. Модуляция достигается импульсным переворотом спина нейтронов относительно поля анализатора поляризации нейтронного пучка.

Источниками магнитного поля могут быть плоская катушка, питаемая переменным током радиочастотного диапазона, либо пульсирующим током определенной длительности, или два соосно-расположенных соленоида. Использование этих устройств связано с трудностями достижения хорошего временного разрешения из-за необходимости переключения больших индуктивностей. Тем не менее они имеют ряд преимуществ перед механическими прерывателями, такие как малые габариты и вес, большая светосила, отсутствие механических вибраций и низкая стоимость, а также простота изменения параметров.

Этими же преимуществами обладает прерыватель на основе фольги с током, исследованный нами. Были изучены параметры, влияющие на его эффективность, а именно, неопределенность во времени пролета и глубина модуляции интенсивности пучка поляризованных нейтронов. С этой целью спектры измерялись при различных длительностях и формах импульсов тока, питающего медную фольгу, их частоты и скважности. Были определены условия адиабатического “прохождения” вектора поляризации в пространстве между фольгой и анализатором. Результатом исследования явилось измерение спектров монохроматических нейтронов с длиной волны $\lambda = 2.3 \text{ \AA}$, “белого” спектра с $\lambda \geq 0.9 \text{ \AA}$ и линейчатого спектра с длинами волн $\lambda_1 = 5.4 \text{ \AA}$, $\lambda_2 = 2.7 \text{ \AA}$, $\lambda_3 = 1.8 \text{ \AA}$. Эти измерения проводились при различных параметрах такого прерывателя. Так диапазон используемых токов в импульсе составлял (60 – 300) А, длительность импульса тока – (10 – 200) мсек, время нарастания импульса – ~ 1 мсек, частота следования – (10 – 200) Гц. Приводится сравнение их со спектрами, полученными с помощью механического прерывателя.

В докладе обсуждаются возможные варианты конструкции такого прерывателя.

**IN1-LAGRANGE на горячем источнике в ИЛЛ: новый спектрометр
для изучения динамики сложных веществ**

А.С. Иванов

Institut Max von Laue - Paul Langevin, Grenoble, France

На горячем источнике нейтронов в ИЛЛ введен в эксплуатацию новый спектрометр для изучения высокочастотных возбуждений, в частности, молекулярных колебаний, в различных материалах, получаемых в неориентированных формах (поликристаллы и порошки, стекла и композиты, биоматерия и проч.). Спектрометр обладает высокой светосилой, позволяющей получать спектры возбуждений на предельно малых образцах (например, с содержанием водорода порядка 0,1 мг) и легко изменяемым энергетическим разрешением.

Результаты испытаний элементов многофункционального нейтронного спектрометра на импульсных источниках ИН-06 и «РАДЕКС» ИЯИ РАН

С.П. Кузнецов¹, И.В. Мешков¹, Р.А. Садыков², В.С. Литвин², Ю.А. Лапушкин¹,
А.А. Алексеев², Э.А. Коптелов²

¹ *Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, Россия*

² *Институт ядерных исследований РАН, Москва, Россия*

Проведены испытания элементов многофункционального нейтронного спектрометра (МНС). Испытания блоков дифрактометров производились на источнике ИН-06 при следующих параметрах источника нейтронов:

Частота протонных импульсов 1- 50 герц, энергия протонов 209 МэВ, ширина импульса нейтронов до 200 микросекунд. Измерен спектр нейтронов детектором прямого пучка расположенном в положении образца на 20 м пролетной базе образец – источник. Измерен спектр падающих на образец нейтронов. Измерения производились гелий-3 детектором прямого пучка, расположенным в положении образца на 20-ти метровой пролетной базе. Спектр характеризуется ярко выраженным пиком тепловых нейтронов, максимум которого приходится на длину волны $\approx 1,3$ ангстрема.

Получены дифрактограммы порошкового образца промышленных алмазов, параметры кристаллической решетки которого хорошо известны, а размеры монокристаллических зерен в образце позволяют использовать его в качестве эталонного при определении инструментального разрешения. В результате проведенных измерений разрешение дифрактометра обратного рассеяния составило 0,5%, а дифрактометра высокой интенсивности $\approx 3\%$ соответственно, что находится в хорошем согласии с расчетными значениями.

Проведены испытания блока неупругого рассеяния МНС на источнике «РАДЕКС». Получены спектры неупругого рассеяния нейтронов на тестовом образце гидрида циркония.

Проведенные эксперименты показали работоспособность испытанных блоков МНС. Дальнейший прогресс в реализации данного проекта связан с достижением проектных параметров протонного ускорителя и с созданием и испытанием блоков неупругого рассеяния и малоуглового дифрактометра.

Исследование структуры первапорационных мембран

Ю.В. Кульвелис¹, С.В. Кононова², В.Т. Лебедев¹

¹ *Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия*

² *Институт высокомолекулярных соединений РАН, Санкт-Петербург, Россия*

Первапорационные мембраны позволяют разделять смеси жидкостей по механизму диффузии-сорбции. Процессы диффузионного разделения на полимерных мембранах обеспечивают решение широкого спектра актуальных научных и производственных задач, в которых мембранные способы могут превосходить по эффективности и экономичности традиционные методы, такие как дистилляция и ректификация. Поскольку в процессе первапорации разделение основано на разной способности компонентов проникать через мембрану, для лучшего понимания транспортных свойств мембран необходимо установить их структурные особенности.

Методом малоуглового рассеяния нейтронов исследована структура первапорационных мембран на основе полиамидоимида (ПАИ), синтезированного из дихлорангидрида дикарбокси-фенилфталимида и диаминодифенилового эфира, в зависимости от условий их формирования [1]. Образцы в виде градиентно-пористых пленок изучали в сухом состоянии и при нескольких степенях насыщения водой. Общее строение пористых мембран соответствует жесткому каркасу с четкими границами между полимерной массой и порами, так что вода при насыщении мембраны заполняет только поры, уже сформировавшиеся при формировании, и практически не проникает в массу полимера. Обнаружены различия в организации упаковки элементов структуры пористых мембран – сферических пор с радиусами от 4 до 100 нм, в зависимости от условий формирования мембран (варьировали время формирования, условия высушивания, наличие фуллерена, который добавляли для модификации механических и селективных свойств мембран). В пористых мембранах существуют и более крупные поры микронных размеров. Также выявлены различия в скорости насыщения мембран водой и предельной степени их набухания, что может объясняться строением плотных слоев мембран, в частности – скин-слоя, и разной степенью их гидрофильности.

[1] С.В. Кононова, Е.В. Кручинина, К.А. Ромашкова и др., Журн. Общей Химии. **80**, 10 (2010).

Исследование наноразмерной структуры сплава САВ-1, облученного быстрыми нейтронами до высоких флюенсов, методом малоуглового рассеяния нейтронов

В.М. Лебедев¹, В.Т. Лебедев¹, С.П. Орлов¹, А.М. Морозов², А.Н. Лапин²

¹ *Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия*

² *ЦНИИ конструкционных материалов «Прометей», Санкт-Петербург, Россия*

Обладающие особым комплексом функциональных свойств (механические, химические, ядерно-физические), сплавы алюминия широко применяются в атомном реакторостроении в качестве конструкционных материалов благодаря высокой коррозионной стойкости в пароводяных средах, низкой активации в условиях ионизирующего облучения. Например, высокая теплопроводность и технологичность алюминиевых сплавов позволяет изготавливать из них тонкостенные изделия сложного профиля. Однако данные материалы, обладающие сравнительно низкими температурами плавления, имеют существенные ограничения по температурам эксплуатации. Кроме того, они подвержены явлениям радиационного старения, для анализа которого необходима тонкая диагностика радиационных дефектов и возникающих наноразмерных включений методами рассеяния нейтронов.

В реакторе ВВР-М ПИЯФ (НИЦ КИ), эксплуатируемом длительное время, начиная с 1959 года, в качестве конструкционного материала активной зоны и оболочек ТВЭЛов применен алюминиевый сплав САВ-1 (Al-Mg-Si). Из него изготовлены бак реактора, экспериментальные каналы и опорная решетка. При этом ВВР-М ПИЯФ является типичным для серии реакторов, построенных в СССР и странах Восточной Европы. Благодаря надежности и высоким техническим характеристикам реактор ВВР-М ПИЯФ будет эксплуатироваться в ближайшие годы, оставаясь головным реактором указанного типа.

В связи с задачами обеспечения безопасности ядерно-физических установок, с целью развития нейтронной диагностики и для получения уникальной информации о состоянии и структуре основного конструкционного материала реактора ВВР-М в ПИЯФ проведены исследования сплава САВ-1 [1], облученного нейтронами в зоне реактора до флюенса $2.25 \cdot 10^{21}$ н/см². Результаты изучения сплава САВ-1 методом малоуглового рассеяния нейтронов показали, что в исходном и облученном образцах существуют дефекты (поры) с характерным радиусом 5–10 нм, наблюдающиеся отдельно, и в виде кластеров радиусами 20–25 нм и 40–50 нм. Облучение вызывает уменьшение объемной доли крупных рассеивающих областей радиусом 40–50 нм и наряду с этим - увеличение доли фракций размером 5–10 нм и 20–25 нм, что указывает на фрагментацию крупных областей.

В развитие этих исследований в настоящей работе представлены результаты изучения структуры сплава САВ-1, набравшего высокие нейтронные флюенсы $(2.16-2.78) \cdot 10^{22}$ н/см² и $(3.31-3.42) \cdot 10^{22}$ н/см² (облучение в ОАО «ГНЦ НИИАР» на реакторе СМ-3 при 70°C, Димитровград). Структуру образцов анализировали на дифрактометре "МЕМБРАНА-2". Обсуждаются распределения размеров наноразмерных образований (дефектов), исходных и индуцированных облучением, их динамика в зависимости от флюенса в сравнении с литературными данными, полученными различными методами, в том числе с помощью фазового анализа.

[1] В.М. Лебедев, В.Т. Лебедев, И.Н. Иванова, С.П. Орлов, Д.Н. Орлова, ФТТ, 2010, № 5. С 934-936.

Исследование радиационной стойкости фуллеренов при облучении быстрыми нейтронами

В.Т. Лебедев, Ю.С. Грушко, В.П. Седов, В.А. Шилин, В.С. Козлов,
С.П. Орлов, П.А. Сушков, С.Г. Колесник, А.А. Сжогина, В.В. Шабалин

Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия

С открытием фуллеренов, впервые обнаруженных в космосе в условиях мощных потоков излучений высоких энергий, возникло направление исследований радиационной стабильности фуллеренов как новая область радиационной физики. В земных условиях при облучении фуллеренов быстрыми нейтронами в ядерных реакторах кроме фундаментальной проблемы установления механизмов радиационного разрушения и превращений фуллеренов, чрезвычайно значимой стала задача определения устойчивости различных фуллеренов (эндофуллеренов) в зависимости от химического строения (изомерии), наличия инкапсулированных атомов, т.к. такие соединения как эндометаллофуллерены перспективны для получения радиофармпрепаратов.

Принципиально важно, что при использовании радиометаллофуллеренов в качестве медицинских препаратов радиоактивный изотоп защищен углеродной оболочкой от химической и биохимической атаки, т.е. не проявляет химической токсичности. Радиационная стабильность таких объектов существенна также и потому, что самый удобный и дешевый метод получения радиометаллофуллеренов заключается в активации стабильных металлофуллеренов тепловыми нейтронами. Однако, облучение неизбежно сопровождается частичным разрушением исходного материала быстрыми нейтронами. Ранее авторы анализировали степень разрушения фуллерена C_{60} и металлофуллерена $Sm@C_{82}$ [1] при двухчасовом облучении в интегральном потоке тепловых и эпитепловых нейтронов $3,8 \cdot 10^{13} \text{ с}^{-1} \text{ см}^{-2}$ (кадмиевое число ~ 9). Результаты показали, что выживаемость (survivability) для фуллерена C_{60} составляет 90%, для $Sm@C_{82}$ – 80%. Позднее данные по выживаемости $Sm@C_{82}$ и C_{60} были подтверждены в работах [2,3]. Перспективы медицинских применений данных углеродных структур вполне очевидны, учитывая, что для многих медицинских радиоизотопов сечения активации очень велики (2-х часового облучения достаточно для приготовления терапевтической дозы).

В настоящей работе изучена зависимость процента выживаемости фуллеренов C_{60} и C_{70} при облучении в реакторе ВВРМ в зависимости от флюэнса (до 10^{19} нейтронов/см² с энергией $> 5 \text{ keV}$). Установлена достаточно высокая стабильность фуллеренов C_{60} и C_{70} при значениях флюэнса, приемлемых для производства терапевтически значимых количеств радиометаллофуллеренов. При этом неожиданной оказалась повышенная стабильность фуллерена C_{70} в сравнении с C_{60} в интервале использованных флюэнсов.

- [1] Yu. Grushko, E.G. Alekseev, V.V. Voronin, S.G. Kolesnik, S.N. Kolesnik, T.M. Pershikova // Molecular Materials. 1996. V. 7. P. 115.
- [2] Yu.S. Grushko, M.A. Khodorkovski, V.S. Kozlov, V.A. Shilin, S.A. Grachev, T.O. Artamonova // Fullerenes, Nanotubes, and Carbon Nanostructures. 2006. V.14. P. 249.
- [3] K.L.S. Lawrence, G.J. Ehrhardt, D.W. Cagle, T.P. Thrash, L.J. Wilson. In "Fullerenes: Recent Advances in the Chemistry and Physics of Fullerenes and Related Materials, The Electrochemistry Society. 1995. V.2. P. 66-71.

Нейтронный рефлектометр-малоугловой дифрактометр ГОРИЗОНТ на импульсном источнике ИН-06: результаты испытаний

В.С. Литвин¹, А.П. Булкин², В.А. Трунов², С.И. Калинин², В.А. Ульянов², А.А. Столяров¹,
Р.А. Садыков¹, Э.А. Коптелов¹

¹Институт ядерных исследований РАН, Москва, Россия

²Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия

На импульсном источнике нейтронов ИН-06 ИЯИ РАН (г. Троицк) был смонтирован и испытан времяпролетный нейтронный рефлектометр «Горизонт». Отличительной особенностью установки является вертикальная плоскость рассеяния нейтронов, благодаря которой возможно исследование методом нейтронной рефлектометрии поверхностей и границ раздела жидкостей. Также установка позволяет исследовать структуру вещества методом малоуглового рассеяния нейтронов.

Установка состоит из зеркального изогнутого нейтроновода, двух автоматизированных коллимирующих щелевых устройств, отклоняющего суперзеркала, виброустойчивого узла образца и консоли с детектором нейтронов. Нейтроновод имеет канал длиной 7 м, образованный суперзеркалами NiMo/Ti с $m=2$, изогнутый в вертикальной плоскости, с радиусом кривизны 520 м. Нейтроновод обеспечивает увеличение плотности потока тепловых и холодных нейтронов на образце и задерживает нейтроны с длиной волны менее 1 Å. Угол падения пучка нейтронов на образец может изменяться с помощью отклоняющего суперзеркала NiMo/TiZr с $m=2$. Планируется оснащение установки двухкоординатным детектором нейтронов, который позволит наблюдать анизотропию малоуглового рассеяния, а также малоугловое рассеяние при скользящих углах (GISANS). Установка может быть оснащена зеркалом-поляризатором, анализатором поляризации и спин-флипперами для рефлектометрии на поляризованных нейтронах.

В ноябре 2010 г. был произведен пуск источника и получены спектры прямого пучка в позиции образца с отклоняющим суперзеркалом и без него, а также расходимость пучка, падающего на образец. Максимум спектра нейтронов на выходе нейтроновода приходится на 2 Å, а расходимость пучка при ширине коллимирующих щелей 10 мм — 0,2°. Данные значения соответствуют расчетным, полученным из модельных расчетов с помощью программы VITESS.

Влияние концентрации неоднородностей на многократное малоугловое рассеяние нейтронов

Ю.Г. Абов, Ф.С. Джепаров, Н.О. Елютин, Д.В. Львов, А.Н. Тюлюсов

Институт теоретической и экспериментальной физики, Москва, Россия

В работе исследованы интерференционные эффекты, проявляющиеся при многократном малоугловом рассеянии нейтронов (ММУРН) на ансамбле хаотически расположенных плотноупакованных рассеивателей. Измерения проведены на смесях порошков Al и Ti-Zr. Показано, что результаты удовлетворительно описываются на основе теории, учитывающей пространственные корреляции в расположении гранул порошка.

Для анализа данных ММУРН обычно используется теория Мольтер-Бете [1,2], которая верна при независимом расположении рассеивателей. При этом ширина линии ММУРН зависит от концентрации рассеивателей только через параметр кратности рассеяния N . В [3] были впервые проведены измерения, указывающие на отклонение от теории Мольтер-Бете при ММУРН на концентрированной системе неоднородностей. В [4] проведено первое обобщение теории ММУРН на случай коррелированно расположенных одинаковых сферических рассеивателей и показано, что ширина линии уменьшается с ростом концентрации при фиксированном N . Метод, позволяющий учитывать распределение рассеивателей по размерам, был развит в [5]. В данной работе систематизированы и обобщены полученные ранее результаты и сделан ряд новых выводов.

Исследовался калиброванный порошок Al по методу ММУРН и на ионном микроскопе. При обработке микрофотографий, полученных на микроскопе, было получено распределение по размерам гранул порошка Al. Данное распределение было использовано для расчета зависимости ширины линии ММУРН от массы порошка по теории Мольтер и по теории [5,6]. Эта же зависимость была получена экспериментально на двухкристальном спектрометре. Сравнение теоретических и экспериментальных зависимостей дает оценку точности метода ММУРН. Для исследования эффекта межчастичной интерференции (МЧИ) в ММУРН проведено измерение зависимости углового распределения рассеянных нейтронов от величины среднего расстояния между рассеивающими центрами. Для изменения расстояния между зернами порошок Al смешивался в различных пропорциях с порошком из сплава TiZr, обладавшего, как ожидалось, нулевой когерентной длиной рассеяния нейтронов. Были проведены измерения угловых распределений ММУРН при различной концентрации гранул порошка Al и определена зависимость ширины линии интенсивности от концентрации рассеивателей. Эта зависимость была рассчитана численно и проведен анализ соответствия теории и эксперимента.

[1] С.В. Малеев, Б.П. Топерверг. ЖЭТФ **78**, 315, 1980.

[2] J. Schelten, W. Schmatz. J. Appl. Cryst. **13**, 385, 1980.

[3] Ю.Г. Абов, Ю.И. Смирнов, Д.С. Денисов и др., Сб. докл. Нац. конф. РСНЭ, Дубна 1997, т.2, с.115.

[4] Ф.С. Джепаров, Д.В. Львов. Письма в ЖЭТФ, **72**, 518, 2000.

[5] Ю.Г. Абов, Ф.С. Джепаров, Н.О. Елютин и др., Письма в ЖЭТФ **78**, 1011, 2003.

[6] Ф.С. Джепаров, К.С. Забелин, Д.В. Львов. Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, № 9, 2009, с. 9-17.

Universal relaxation processes in liquids measurable by quasielastic neutron scattering

E. Mamontov

Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, USA

The spatial-temporal information on the dynamic processes available from the dependence of the scattering signal on the momentum transfer sets quasielastic neutron scattering (QENS) apart from other dynamic probes of liquids. We discuss relaxation processes in water and other liquids, molecular and ionic, measurable by QENS. Besides the component related to the main structural relaxation, QENS measurements are sensitive to another, faster dynamic component, related to a secondary relaxation. Traditionally labeled “rotational”, this component has been recently demonstrated to involve the localized center-of-mass motions of liquid molecules in transient confinement. We discuss how the new generation of time-of-flight neutron backscattering spectrometers (e.g., BASIS at the Spallation Neutron Source in Oak Ridge, USA) can be used to obtain previously non-accessible information on the microscopic dynamics of liquids.

Программный комплекс “VITESS polarized neutron suite” для моделирования нейтронных инструментов с поляризованными нейтронами

С. Маношин¹, А. Белушкин¹, А. Иоффе²

¹ Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

² Jülich Centre for Neutron Science, Garching, Germany

Монте-Карловское моделирование играет очень важную роль в процессе дизайна, расчета и оптимизации инструментов/спектрометров нейтронного рассеяния. Адекватная, оттестированная и грамотно разработанная математическая модель нейтронного инструмента открывает большие возможности для разработки новых и модернизации существующих инструментов. Это делает разработку и развитие мощных Монте-Карловских программ моделирования нейтронных инструментов очень важным направлением нейтронных исследований. В настоящее время, специальные программы моделирования нейтронных инструментов -VITESS, MCSTAS или RESTRAX – используются при разработке и оптимизации практически всех новых строящихся и модернизируемых нейтронных инструментов.

В то же самое время программы моделирования нейтронных инструментов не позволяли комплексное моделирование инструментов, использующих поляризованные нейтроны. В течении последних нескольких лет совместные усилия Лаборатории Нейтронной Физики (ОИЯИ, Дубна, Россия) и Jülich Centre for Neutron Science (Forschungszentrum Jülich, Germany) позволили восполнить этот пробел и закончили реализацию программного комплекса VITESS для моделирования практически любых нейтронных инструментов работающих с поляризованными нейтронами. В частности, в VITESS включена возможность работы не только со стационарными, но и с временно-зависимыми (как по величине, так и по направлению) магнитными полями. Это позволило успешно промоделировать спиновую динамику в устройствах использующих вращающиеся и градиентные (во времени) магнитные поля, в радиочастотном и градиентном адиабатическом радиочастотном флиппере, в резонаторах Драбкина. Кроме того, используя эти компоненты в разных комбинациях, было успешно проведено моделирование практически всех видов нейтронных спин-эхо спектрометров: классическое нейтронное спин-эхо, нейтронное резонансное спин-эхо (NRSE), спин-эхо спектрометры с вращающимися магнитными полями и градиентными во времени магнитными полями. Дополнительно проведено моделирование спин-эхо дифрактометров SESANS и SERGIS, а также MIEZE спектрометров. Таким образом, представленный комплекс программ «VITESS Polarized Neutron Suite» позволяет выполнить моделирование практически любого современного нейтронного инструмента с поляризованными нейтронами. В данной работе мы представляем данный комплекс программ и демонстрируем моделирование некоторых инструментов с поляризованными нейтронами: NRSE, MIEZE, SESANS и др.

Кольцевые детекторы для установок на импульсных источниках нейтронов ИН-06 и РАДЭКС

В.Н. Матвиенко^{1, 2}, Е.С. Клементьев^{1, 3, 4}, Р.А. Садыков¹

¹ *Институт ядерных исследований РАН, Москва, Россия*

² *РФЯЦ-ВНИИТФ, Снежинск, Россия*

³ *НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия*

⁴ *НИЯУ МИФИ, Москва, Россия*

Разработаны кольцевые детекторы для установок первой очереди на импульсных источниках нейтронов испарительного типа ИН-06 и РАДЭКС в ИЯИ РАН. Обсуждаются параметры детектирующих систем с кольцевыми детекторами для времяпролетных дифрактометров на тепловых и эпитепловых нейтронах.

Представлен дизайн-проект детектора нейтронного дифрактометра «Геркулес» на источнике ИН-06, включающий в себя детектирующее кольцо для угла рассеяния 90 градусов, предназначенное прежде всего для проведения экспериментов при высоком давлении. Дополнительные кольца позволяют проводить измерения нейтронограмм в диапазоне углов рассеяния от 30 до 150°.

Детектирующая система установки второй очереди «Градус» на источнике ИН-06 предназначена для работы в области эпитепловых и горячих нейтронов. Данная установка позволит проводить структурные исследования сильно поглощающих нейтроны материалов. Ключевой особенностью данной установки является использование хорошо коллимированного пучка нейтронов и рассеяние на малые углы.

Представлена детектирующая система для нейтронного дифрактометра ПРЕСС-1, расположенного на импульсном источнике нейтронов РАДЭКС.

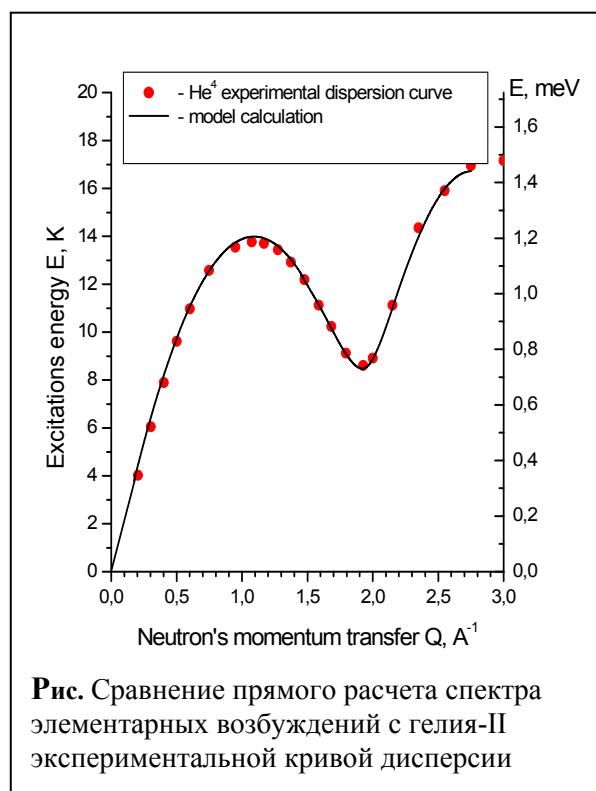
Для всех обсуждаемых установок сделаны оценки разрешения, учитывающие как геометрические параметры, так и параметры нейтронного импульса источников ИН-06 и РАДЭКС. Обсуждаются оптимальные условия проведения исследований структур на времяпролетных дифрактометрах Нейтронного комплекса ИЯИ РАН.

Микроскопическая модель жидкого гелия в когерентном и некогерентном состоянии

С.И. Морозов

Физико-энергетический институт им. А.И. Лейпунского, Обнинск, Россия

В работе излагается концепция микроскопической природы структурно-динамических свойств сверхтекучего гелия-II. На базе эвристического подхода сформулирована гипотеза существования флуктуационного вихревого поля в структурно неустойчивых и неупорядоченных системах, вводится понятие вихревых квазичастиц и их композитных состояний. Такой подход позволяет понять физику жидкого гелия, как в нормальном состоянии (свойство текучести), так и в квантовом когерентном состоянии (свойство сверхтекучести), с микроскопической точки зрения.



экспериментальной кривой дисперсии элементарных возбуждений. При этом модель не имеет феноменологических подгоночных параметров.

На основе идеи о формировании когерентного состояния композитных вихревых квазичастиц объяснено изменение инерционных свойств твердого гелия, наблюдаемое при температуре ниже 0.23K. Оценки увеличения частоты колебаний торсионного маятника с ячейкой твердого гелия в когерентном состоянии находятся в хорошем согласии с экспериментальными данными. Базовые идеи о существовании связанных вихревых состояний в квантовой макросистеме могут служить отправной точкой для объяснения механизм спаривания носителей заряда в высокотемпературных сверхпроводниках.

Представление о вихревом характере теплового движения атомов жидкого гелия вытекает из анализа парного потенциала взаимодействия гелий-гелий. Показано, что эффективный потенциал взаимодействия атома гелия с окружением представляет собой квантовую яму с широким вогнутым дном. Форма потенциала предопределяет возможность формирования вихревых квазичастиц в системе. Благодаря обменному взаимодействию поведение частиц оказывается коррелированным. Это приводит к формированию связанных состояний квазичастиц и, в конечном итоге, переходу системы в состояние с недиагональным дальним порядком.

В рамках данного представления построена структурно-динамическая модель жидкого гелия, определена температура фазового перехода в когерентное состояние и рассчитан спектр элементарных возбуждений. Расчет находится в прекрасном согласии с

Моделирование нейтронного пучка на диффрактометре ДН-2 реактора ИБР-2М методом Монте-Карло

Д. Неов^{1,2}, А. Бескровный¹

¹ Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

² ИИЯЭ, София, Болгария

Нейтронный диффрактометр ДН-2 установлен на исследовательском реакторе ИБР-2М. Он отличается высоким нейтронным потоком и активно использовался для нахождения атомного порядка в биологических структурах [1] и кристаллических материалах [2]. Понастоящем проводится модернизация инструмента включающая замену зеркального нейтропровода с новым вакуумированным нейтропроводом, также покрытым никелем (натуральная смесь изотопов). Для вычисления параметров спроектированного нейтропровода был выбран метод Монте-Карло, программный пакет McStas в частности [3]. Этот метод позволяет получить основных характеристик нейтронного пучка путем усреднении по большому ансамблю нейтронов (10^9 - 10^{12}). Каждый нейтрон генерируется в месте источника со случайными характеристиками (положение, скорость) удовлетворяющими условию эксперимента и подчиняющимися данному распределению. Полученный результат показывает что интенсивность нейтронов сильно неравномерная по сечению нейтропровода с уплотнениями у верхней и нижней отражающих поверхностей и так же сильно зависит от длины волны. Прибыль в интенсивности в месте образца по сравнению с отсутствием нейтропровода увеличивается начиная с 3 ангстрем и достигает примерно 5 раз для длины волны в 5 ангстрем. Угловая апертура у выходного торца нейтропровода у симмулированного распределения приблизительно 0.16 град./ангстрем, а разрешение инструмента (исключая всякое физическое уширение от образца как дислокации, мелкозернистность кристаллитов и др.), описывается как $\Delta d/d = 0.012 + 0.017/(d - 0.315)$ при диффракции на углах около 90 град. Для нахождения последнего понадобилось провести симуляцию дифракции от поликристаллических порошков $\text{Na}_2\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{F}_{14}$ и железа.

Были перечислены возможные допуски при монтаже, которые привели к несоответствию между первыми экспериментально полученными данными для распределения нейтронного пучка и смоделированными результатами.

[1] N.Y. Ryabova, M.A. Kiselev, A.I. Beskrovnyĭ and A.M. Balagurov. Physics of the Solid State **52 (5)** (2010), pp. 1050-1058.

[2] I. N. Guskos et al., Journal of Alloys and Compounds, 391, Issues 1–2 (2005), pp. 20-25.

[3] E. Farhi and P. Willendrup, Collection SFN **12** (2011) pp. 303–339, DOI: 10.1051/sfn/201112015.

Топология и водородная связанность в сверхкритической воде

А.Г. Новиков

ГНЦ РФ – Физико-энергетический институт им. А.И. Лейпунского, Обнинск, Россия

В рамках двухкомпонентной структурно - динамической модели, предложенной ранее авторами для интерпретации результатов эксперимента по рассеянию нейтронов сверхкритической водой (СКВ) (на изотерме 400°C, область плотностей $0.005 \text{ г/см}^3 < \rho < 0.32 \text{ г/см}^3$) [1], используя данные по водородной связанности в СКВ, полученные методом молекулярно-динамического моделирования [2], удалось описать экспериментальную зависимость от плотности относительных долей «жидкоподобной» и «газоподобной» компонент СКВ.

- [1] Ю.В. Лисичкин, А.Г. Новиков. Известия ВУЗов, «Ядерная энергетика», 2001. № 1, с 51.
[2] N. Yoshii, Sh. Miura, S. Okazaki. Bull. Chem. Soc. Jap. 72 (1999) 151.

Исследование наноструктурирования и люминесценции в системе ZnS-Cu₂S

В.Т. Лебедев², М.М. Сычев¹, К.А. Огурцов¹, В.В. Бахметьев¹, Ю.В. Кульвелис², Gy. Török³,
А.Е. Соколов², В.А. Трунов²

¹Санкт-Петербургский государственный технологический институт (Технический университет), Санкт-Петербург, Россия

²Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия

³Research Institute for Solid State Physics and Optic, Budapest, Hungary

Цинксульфидные люминофоры широко используются в современных средствах отображения информации, в частности в электролюминесцентных источниках света. Однако до сих пор актуальной задачей является повышение яркости их люминесценции. В случае электролюминофоров для обеспечения эффективного преобразования электрической энергии в свет в качестве активатора в ZnS вводят медь. В электролюминофорах медь находится по крайней мере в двух состояниях: в виде преципитатов фазы Cu_xS, обеспечивающих генерацию носителей заряда при возбуждении электролюминесценции внешним электрическим полем в гетеропереходах ZnS-Cu_xS, а также в составе центров люминесценции, обеспечивающих излучательную рекомбинацию носителей [1].

Увеличить яркость электролюминесценции в системе ZnS-Cu₂S было предложено путем наноструктурирования основы ZnS за счет предварительной его обработки разными методами перед синтезом. Это должно было привести к созданию дополнительных дефектов, которые способствовали бы равномерному за счёт диффузии распределению ионов меди и их встраиванию в решетку ZnS в процессе высокотемпературного синтеза люминофора. Тем самым приводя к повышению числа центров свечения.

В нашей работе ZnS был модифицирован следующими способами: электронно-лучевая модификация, ударно-волновое воздействие на материал в медной ампуле сохранения, обработка в плазме азота. Далее, с исходным и обработанным сульфидом цинка были приготовлены шихты для синтеза ZnS:Cu,Cl люминофоров, содержащие различные концентрации меди. Синтез всех образцов проводили в корундовых тиглях при температуре 950 °С в течение 90 минут. Исследования кристаллической структуры проводились на 48-ми детекторном суперпозиционном нейтронном дифрактометре, установленном на пучке №9 реактора ВВР-М ПИЯФ РАН. Распределение активатора по объёму люминофора исследовалось с помощью малоуглового рассеяния нейтронов. Измерения малоуглового рассеяния нейтронов были выполнены на дифрактометре “Yellow submarine” (Будапешт, RISSPO) при 20°C в диапазоне переданных импульсов $q = 0.1-3 \text{ нм}^{-1}$ (длина волны $\lambda = 0.578 \text{ нм}$, $\Delta\lambda/\lambda = 0.1$).

Установлено, что в диапазоне концентраций меди в шихте 0,15...0,5 масс.% содержание преципитатов растёт линейно. Размер преципитатов при этом не меняется и составляет 22 нм. Это свидетельствует о том, что определяющим фактором является кинетический, а не концентрационный. В случае предварительной ударно-волновой обработки ZnS перед синтезом размер преципитатов уменьшается до 16,2 нм. В случае предварительной обработки ZnS ускоренными электронами и азотной плазмой в его структуре образуются дополнительные дефекты. Об этом косвенно свидетельствуют спектры диффузного отражения, на которых наблюдается некоторое потемнение ZnS после обработки, связанное с выделением фазы Zn⁰ на его поверхности. Созданные дефекты в результате облегчают диффузию и увеличивают содержание меди в матрице, что позволяет получить наноструктурированный люминофор с большим числом центров свечения и повышенной яркостью.

[1] О.Н. Казанкин, Л.Я. Марковский, И.А. Миронов. *Неорганические люминофоры*, Л.: Химия, 1975. 192 с.

Кольцевой многосекционный детектор тепловых нейтронов

Ц.Ц. Пантелеев

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

В ЛНФ ОИЯИ разработан и изготовлен многосекционный кольцевой детектор на основе He^3 . Детектор состоит из радиально расположенных 16 секции, каждая из которых разделена вдоль образующей цилиндрической поверхности на 6 независимых детекторов. Детектор предназначен для работы с малыми образцами в плоскости, перпендикулярной к оси пучка нейтронов. К нему разработана 96 канальная система накопления данных. Детектор прошел тестовые испытания на 12-том зеркальном канале реактора ИБР-2М.

Микродеформации в сталях с дисперсионным упрочнением

И.В. Папушкин¹, Г.Д. Бокучава¹, В.В. Сумин¹, А.М. Балагуров¹, Д.В. Шептяков²

¹ *Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия*

² *Институт Пауля Шеррера, Виллиген, Швейцария*

Повышение прочности конструкционных материалов позволяет уменьшить расход материала при изготовлении деталей машин и механизмов и значительно увеличить их эксплуатационный ресурс. При создании материалов для атомной промышленности (сталей, структурированных сплавов) помимо повышения прочности, актуальной проблемой является улучшение их радиационной стойкости, т.е. снижение склонности к охрупчиванию и вакансионному распуханию. Одним из наиболее перспективных путей решения этих задач признано упрочнение металла или сплава, за счет образования в объеме материала химически устойчивых неметаллических дисперсных фаз субмикронного размера, которые тормозят перемещение дислокаций в нем.

Важную роль в изучении процессов, происходящих в конструкционных материалах при их дисперсионном упрочнении, играют методы ядерной физики и, особенно, дифракция тепловых нейтронов. Созданные в нескольких нейтронных центрах дифрактометры высокого разрешения обладают уникальными возможностями при определении микроструктуры материалов и изделий благодаря высокой точности результатов, возможности анализа многофазных материалов и, особенно, большой глубине проникновения нейтронов, которая в сотни раз превосходит глубину проникновения рентгеновских лучей, что позволяет регистрировать объемные эффекты.

В настоящей работе приведены результаты структурных исследований нескольких нержавеющих аустенитных реакторных сталей с помощью нейтронографии высокого разрешения. Изучались стали с дисперсионным упрочнением частицами карбида ванадия (VC) и интерметаллида Ni_3Ti . Анализ микродеформаций в этих сталях, возникающих при их упрочнении, проведен в зависимости от температуры и времени старения и получена информация, важная для определения степени когерентности дисперсионно-упрочняющих наночастиц с аустенитной матрицей.

Структура амилоидных протофиламентов лизоцима по данным малоуглового рассеяния нейтронов и рентгеновских лучей

В.И. Петренко^{1,2}, М.В. Авдеев¹, L.Almasy^{3,4}, М. Timko⁵, V.M. Garamus⁶, Л.А. Булавин²,
В.Л. Аксенов^{7,1}, Р. Корсcаньски⁵

¹Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

²Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко, Киев, Украина

³Paul Scherrer Institut, Villigen, Switzerland

⁴Research Institute for Solid State Physics and Optics, Budapest, Hungary

⁵Institute of Experimental Physics SAS, Kosice, Slovakia

⁶Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Geesthacht, Germany

⁷НИИ "Курчатовский институт", Москва, Россия

Амилоиды (фибриллярные белковые агрегаты) рассматриваются сегодня как первопричина ряда нейродегенеративных заболеваний, таких как болезнь Альцгеймера, Паркинсона, атеросклероз и др. В большинстве случаев амилоиды представляют собой вытянутые спиралевидные объекты, состоящие из скрученных между собой нескольких первичных филаментов (протофиламентов) и достигающие микронной длины. Сами протофиламенты также имеют спиральную структуру, параметры которой определяются свойствами раствора, где инициируется рост амилоидов.

В настоящей работе рассмотрены возможности определения параметром спиральной структуры протофиламентов в амилоидных растворах лизоцима (из белка куриного яйца) посредством малоуглового рассеяния нейтронов (МУРН) и рентгеновских лучей (МУРР). Размеры поперечного сечения данных образований лежат в нанометровом диапазоне (порядка 10 нм), что обуславливает применение указанных методов для количественной характеристики амилоидов. Показано, что среди простых приближений наиболее адекватно структура протофиламентов описывается в рамках модели «спираль из однородных сферических частиц», предложенной ранее для спиралевидной агрегации белка RecA [1]. Как результат, определены период повторяемости (шаг) и средняя толщина спирали, а также эффективный радиус основных структурных единиц, составляющих спираль. Проведено сравнение с количественными данными других методов (электронная микроскопия, атомно-силовая микроскопия и др.). Проанализирован изотоп-эффект при изменении содержания тяжелой компоненты в растворителе (смеси H₂O/D₂O) в рамках процедуры вариации контраста МУРН.

[1] D.V. Lebedev, D.M. Baitin, A.Kh. Islamov, A.I. Kuklin, V.Kh. Shalguev, V.A. Lanzov, V.V. Isaev-Ivanov, FEBS Lett. 537 (2003) 182-186.

Магниточувствительность фазовых выделений в стареющих медно-бериллиевых сплавах по данным малоуглового рассеяния нейтронов

Ю.В. Осинская¹, С.С. Петров¹, А.В. Покоев¹, В.В. Рунов²

¹ Самарский государственный университет, Самара, Россия

² Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия

Ранее в работах [1, 2] было установлено, что постоянное магнитное поле (ПМП), наложенное на процесс старения бериллиевой бронзы БрБ-2, увеличивает микротвердость состаренного сплава до 30 %, изменяет микроструктуру сплава, размер и количество фазовых выделений, которые с различной эффективностью оказывают сопротивление движущимся дислокациям, т.е. в итоге формируется post магнитопластический эффект (МПЭ). В составе бериллиевой бронзы БрБ-2 присутствует ферромагнитная примесь никеля в количестве 0.3 вес. %, которая может заметно повлиять на эффективность воздействия ПМП на процессы старения и, следовательно, изменить свойства сплава. Для изучения кинетики старения медно-бериллиевых сплавов и микроскопических механизмов влияния ПМП на МПЭ в данной работе впервые выполнено экспериментальное исследование малоуглового рассеяния (МУР) и трансмиссии поляризованных нейтронов при старении Cu-Be сплавов (содержание бериллия 0.5, 1.0, 1.6, 2.7, 3.0 вес. % и с максимальным содержанием ферромагнитных примесей не более 0.035 вес. %) в ПМП и без него.

Эксперименты по МУР нейтронов выполнены на установке малоуглового рассеяния поляризованных нейтронов ВЕКТОР (ПИЯФ им. Б.П. Константинова РАН, реактор ВВР-М, Гатчина) на длине волны $\lambda=9.2 \text{ \AA}$ ($\Delta\lambda/\lambda=0.25$). Анализ и сопоставление имеющихся экспериментальных данных, а также теоретические представления о механизмах влияния ПМП на МПЭ и кинетику старения медно-бериллиевых сплавов позволяют сделать следующие выводы:

1. Механизмы влияния ПМП на МПЭ и кинетику старения Cu-Be сплавов определяются спецификой элементарных процессов роста кластеров и фаз в ПМП и их взаимодействия с дислокациями. Магниточувствительными объектами, ответственными за «отклик» сплавов на включение ПМП по данным МУР и трансмиссии нейтронов, являются объекты с характерным размером $R \sim \lambda \sim 10 \text{ \AA}$.

2. Наличие магнитного момента у многих типов дефектов приводит к тому, что в ПМП изменяется как собственная энергия дефекта, так и эффективность взаимодействия дефекта со стопорами различного типа, что, собственно, и приводит к появлению МПЭ. ПМП может влиять на магнитное упорядочение парных атомных комплексов при старении, в целом диамагнитных медно-бериллиевых сплавах, и оказывать существенное влияние на процессы агрегирования наноразмерных магниточувствительных атомных кластеров.

3. Для случая Cu-Be сплавов, магниточувствительными объектами могут быть парные атомные комплексы типа медь-бериллий, бериллий-бериллий, атомные кластеры и зародыши фазовых выделений γ -CuBe, примесные атмосферы на дислокациях, сегрегации примеси в границах зерен, размеры которых, хотя бы в одном измерении, имеют порядок величины $\sim 1 \text{ нм}$.

[1] Ю.В. Осинская, А.В. Покоев, ФХОМ: **3**, 18 (2003).

[2] Ю.В. Осинская, С.С. Петров, А.В. Покоев, В.В. Рунов, ФТТ: **52**, 486 (2010).

Спектрометр для исследования при высоких давлениях ДН-6: текущий статус

Б.Н. Савенко¹, Д.П. Козленко¹, А.В. Белушкин¹, Е.В. Лукин¹, С.Е. Кичанов¹, Е.С. Кузьмин¹,
А.П. Булкин², А.П. Сиротин¹

¹ Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

² Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия

Представлены текущие результаты работ по созданию дифрактометра ДН-6 для исследования микрообразцов в экстремальных условиях – одной из первоприоритетных задач по развитию комплекса спектрометров реактора ИБР-2М. В ходе реализации проекта были выполнены работы по дополнительной радиационной защите головной части нейтроновода. Смонтирована и протестирована вакуумная система головной и хвостовых частей нейтроновода. Полностью собраны изогнутая и прямая секции хвостовой части нейтроновода. Собран каркас механической части дифрактометра, установлен и отъюстирован коллиматор нейтронного пучка. Восстановлены элементы биологической защиты нейтроновода. Ведутся работы по проектированию и изготовлению фоновой защиты кольцевого детектора, планируемый срок окончания работ – июль 2012. Продолжается изготовление компонентов электроники детектора и программного пакета контроля и накопления информации для этого детектора, планируемый срок окончания работ – сентябрь 2012. Провести первые тестовые эксперименты на дифрактометре ДН-6 планируется до конца 2012 г.

Работа выполнена при поддержке госконтрактов №02.740.11.0542 и №16.518.11.7029 в рамках Федеральных целевых программ «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2012 годы» и «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 годы».

Камеры высокого давления для нейтронографии на основе немагнитных сплавов TiZr, 40ХНЮ и В95

Р.А. Садыков^{1,2}

¹*Институт ядерных исследований РАН, Москва, Россия*

²*Институт физики высоких давлений РАН, Троицк, Россия*

Повышенный интерес к квантовым критическим явлениям, квантовой фрустрации и состоянию не ферми жидкостного поведения ряда магнетиков под давлением, вызвал необходимость проведения прямых нейтронографических экспериментов как при низких температурах и в сильных магнитных полях, так и при высоком давлении одновременно.

В связи с этим были разработаны и применены ряд оригинальных камер высокого давления (в докладе представлены варианты камер) как для дифракции так и для неупругого рассеяния нейтронов.

Камеры имеют конструкцию, позволяющую помещать их в существующие различные нейтронографические криостаты, включая криостаты растворения и криомагниты, и использовались на источниках нейтронов:

SINQ (Switzerland), ISIS (UK), HMI (Germany), ILL (France).

Использовались приборы: дифрактометры (включая дифрактометр высокого разрешения и дифракции поляризованных нейтронов), спектрометры неупругого рассеяния.

Новый метод прецизионной структурной интроскопии кристаллов большого размера

С.Ю. Семенихин¹, В.В. Воронин¹, И.А. Кузнецов¹, Е.Г. Лапин¹, В.В. Федоров^{1,2},
Я.А. Бердников², Е.О. Вежлев^{2,1}

¹ *Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия*

² *Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, Санкт-Петербург, Россия*

Недавно нами был предложен новый метод контроля за параметром межплоскостного расстояния [1,2] кристаллов, отличающийся чрезвычайно высокой точностью относительного измерения (вплоть до $\Delta d/d \sim 10^{-7}$). Данный метод позволяет исследовать кристаллы произвольной формы и огранки, размерами до нескольких десятков сантиметров, по всему их объему и без специальной предварительной подготовки. Сравнительно невысокая стоимость экспериментального оборудования, необходимого для проведения таких исследований, и относительная простота измерений позволяет использовать данный метод для широкого круга задач. В частности, его предлагается использовать для исследования внутренних напряжений, однородности примесей и состава кристаллических материалов, приводящих к деформации кристаллической решетки с точностью недостижимой другими методами, что является исключительно важной и актуальной задачей при выращивании кристаллов с заданными свойствами, например, для полупроводниковой и оптической промышленности, а также при создании оптических и кристалл-дифракционных приборов высокого разрешения применяемых в физических исследованиях.

- [1] V.V. Fedorov, I.A. Kuznetsov, E.G. Lapin, S.Yu. Semenikhin, V.V. Voronin, Yu.P. Braginetz, K.Yu. Amosov, Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A **593** (2008) 472.
- [2] С.Ю. Семенихин, Ю.П. Брагинец, В.В. Воронин, И.А. Кузнецов, Е.Г. Лапин, В.В. Федоров, Я.А. Бердников, А.Я. Бердников, Е.О. Вежлев, ЖТФ, **81** (3) (2011) 71.

Модернизация систем управления и контроля экспериментальных установок на реакторе ИБР-2М

А.П. Сиротин, В.К. Широков, А.С. Кирилов, Т.Б. Петухова

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

К пуску реактора ИБР-2М проводилась комплексная модернизация некоторых спектрометров. В данной работе сформулированы основные подходы к построению систем контроля и управления экспериментальных установок на реакторе ИБР-2М.

В качестве примера реализации элементов новой структурной схемы приводится система контроля и управления экспериментальной установкой ЮМО, СКАТ и Эпсилон на 4 и 7 каналах реактора ИБР-2М.

Предлагается в качестве основного интерфейса для подключения оборудования спектрометра к ПК использовать – USB порты. В системе используются адаптеры:

- USB-CAN, USB-RS485 – для подключения систем управления движением.
- USB-RS485, RS485-SSI – для подключения датчиков положения исполнительных механизмов.
- USB-RS422 и USB-RS232 – для подключения приборов с соответствующими интерфейсами.

Системы управления исполнительными механизмами легко модернизируются за счет подключения дополнительных элементов локальной сети контроллеров шаговых двигателей на линии CAN или RS485.

Система съема информации с датчиков ориентирована на один тип преобразователя SSI-to-RS485, что позволяет не меняя программного обеспечения проводить смену датчиков.

«Системы связи с объектом» (УСО) также основываются на интерфейсе RS485.

В результате модернизации основные исполнительные механизмы спектрометров оснащаются абсолютными датчиками положения. Все системы управления и контроля непосредственно подключаются к стандартному интерфейсу ПК – USB

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики им. И.М.Франка ОИЯИ.

Нейтронные и Р-V-T исследования жидкостных фосфолипидных систем

Д.В. Соловьев^{1,2}, О.И. Иваньков^{1,3}, Ю.Е. Горшкова¹, А.Х. Исламов^{1,3}, Л.А. Булавин²,
А.И. Куклин^{1,3}, В.И. Горделий^{1,3,4,5}

¹ Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

² Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев, Украина

³ Бионаноцентр Московского физико-технического института, Долгопрудный, Россия

⁴ Институт структурной биологии, Гренобль, Франция

⁵ Институт комплексных систем – 5, Юлих, Германия

В работе представлены результаты одновременных экспериментов по малоугловому рассеянию нейтронов и Р-V-T исследований мультислойных ДПФХ (дипальмитоилфосфатидилхолин) мембран в тяжелой воде при температуре 50°C в диапазоне давлений от 10бар до 400 бар на уникальной Р-V-T установке, адаптированной для исследований на малоугловом нейтронном спектрометре ЮМО [1-3]. Р-V-T установка дает возможность одновременно изучать изменения структуры липидного бислоя и объемные изменения ДПФХ/D2O.

Построены барические зависимости периода повторяемости и сжимаемости липидной системы.

Показано, что при фазовом переходе из рипл-фазы в жидкокристаллическую происходит изменение объема липида.

Используя экспериментальные данные, и данные компьютерного моделирования, приведенные в работе [4], рассчитано изменение площади, приходящейся на одну молекулу липида в плоскости мембраны при фазовом переходе из рипл-фазы в жидкокристаллическую фазу.

[1] Соловьев Д.В., Булавин Л.А., Горделий В.И. и др., Ядерная физика и энергетика. **13**, 83 (2012), *укр.*

[2] Kuklin A.I., Soloviov D.V., Rogachev A.V. et al., Journal of Physics: Conference Series. **291**(1), 012013 (2011).

[3] Kuklin A.I., Islamov A.Kh. & Gordely V.I., Neutron News. **16**(3), 16-18 (2005).

[4] Leekumjorn, S. and A.K. Sum, Biophysical Journal. **90**(11), 3951-3965 (2006).

Изучение распада мартенсита в ферритно-мартенситных сталях методом МУРН

В.В. Сумин

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

Изучению ферритно-мартенситных сталей в последнее время уделяется большое внимание благодаря ее уникальным теплостойким и радиационно-стойким свойствам.

В ЛНФ и других институтах проведены измерения дифракции и МУРН на сталях этого типа. Для сравнения возможностей разных малоугловых спектрометров эти измерения проведены на спектрометре ЮМО (ЛНФ), установке Будапештского Нейтронного Центра и на установке с поляризованными нейтронами ПИЯФ. В работе приводятся предварительные результаты этих измерений и сравнение с ТЭМ.

Распространяющиеся колебательные возбуждения в металлических стеклах

Г.Ф. Сырых¹, А. Орекини², Дж.А. Страйд³

¹ НИИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия

² Институт Лауэ-Ланжевена, Гренобль, Франция

³ Университет Сиднея, Сидней, Австралия

При использовании спектрометров IN4 ($\lambda_0 = 2.2 \text{ \AA}^{-1}$ и 2.5 \AA^{-1}) и IN1 ($\lambda_0 = 1.0 \text{ \AA}^{-1}$) исследован динамический структурный фактор $S(Q, E)$ в металлических стеклах Zr-Be. Наблюдены характерные особенности, относящиеся к бозонному пику, акустическим и оптическим модам. Анализ дисперсионных соотношений этих мод показал, что бозонный возбуждения (по крайней мере, их часть) носят распространяющийся характер и связаны с присутствием химического и топологического ближнего порядка в системе. Акустические и оптические возбуждения связаны с тяжелой (Zr) и легкой (Be) подсистемами, соответственно. При этом первые пики их парциальных структурных факторов $S(Q)$ могут рассматриваться как размытые точки обратного пространства неупорядоченной среды.

Возможность одновременного достижения высокого энергетического и углового разрешения при использовании совершенных кристаллов

Н.О. Елютин, Д.В. Львов, А.Н. Тюлюсов

Институт теоретической и экспериментальной физики, Москва, Россия

Известна схема использования трёхкристального спектрометра для изучения диффузного рассеяния нейтронов на неоднородностях (кластеров, дислокаций) в полупроводниковых материалах [1, 2]. В определённых случаях (при наличии интенсивных пучков) эта техника позволяет исследовать изодиффузные поверхности рассеянного излучения и устанавливать форму неоднородностей. Опыты производятся с тремя совершенными кристаллами (обычно Si, Ge), установленными отражающими плоскостями (111) или (200) в параллельную позицию. Первый кристалл служит монохроматором (М), а второй и третий – образцом (О) и анализатором (А), соответственно.

Известно свойство двукристального параллельного спектрометра реализовывать в плоскости рассеяния (обычно горизонтальной) высокое (10^{-5} рад) угловое разрешение [3]. Это привело к настоящему времени разработке и использованию данной схемы в опытах по рассеянию на неоднородностях размером ~ 1 мкм. Распространение поучила техника использования кристаллов с пропилом [4], позволяющая заметно подавить «хвосты» инструментальной кривой. Однако её использование приводит к необходимости постоянной длины волны, и ограничивает назначение прибора лишь малоугловым рассеянием на неоднородностях определённых размеров [5].

Дополнительные возможности предоставляет кристаллическая схема, в которой помещён дополнительный кристалл "предмонохроматр" (причём не обязательно высокосовершенный), а кристаллы М и О установлены в антипараллельную позицию. Последний кристалл, как и ранее, выполняет функцию анализатора. Таким образом, представляется мыслимым создание прибора, оснащенного 4-мя подвижными юстировочными головками, позволяющего реализовать 4-х кристальную схему. В ней второй и третий кристалл по ходу пучка установлены в (1, +1) дисперсионную позицию, а третий и четвёртый кристалл составляют (1, -1) двухкристальный спектрометр, свойства которого обсуждались в [2]. Результаты, полученные на дифрактометре МИФИ, дают, такие оценки. Если на входное окно прибора поступает поток тепловых нейтронов с плотностью $\Phi_0 \approx 1,2 \cdot 10^{15}$ т.н./см²·с, то на выходе (после 4 кристалла) можно получить $\Phi_{\text{вых}} \sim 2 \cdot 10^4$ н./см²·с, $\Delta\lambda / \lambda \sim 10^{-5}$ и угл. разрешением $\sim 5 \cdot 10^{-6}$ рад. В принципе, опыты по МУР при этом можно проводить, помещая образцы в пространство между О и М кристаллами или установив пятый кристалл, параллельно кристаллу А.

Как представляется, такой прибор может расширить области исследований квазиупругого когерентного рассеяния нейтронов, а так же диффузного и малоуглового рассеяния на неоднородностях структуры в образцах различной природы.

- [1] Кулиджанов Ф.Г., Эйшлин А.О., Елютин Н.О. «Наблюдение диффузного рассеяния нейтронов на кристаллах Ge методом (1,-1, 1) спектрометра», - Письма в ЖТФ, 1986, т.12, в.16, с.1003-8.
- [2] Абов Ю.Г., Елютин Н.О., Эйшлин А.О. «Диффузное рассеяние нейтронов на статических неоднородностях в монокристаллах», Доклад на "Нейтронной конференции", Киев, 1987 г., Сб. трудов, т.4, с.47-52, 1988.
- [3] Ю.Г. Абов, Н.О. Елютин, А.Н. Тюлюсов, «Динамическая дифракция нейтронов на совершенных кристаллах», Ядерная физика, т.65, №11, 2002, с.1933-79.
- [4] D. Schwahn, A. Mikšovský, H. Rauch, E. Seidl & G. Zugarek, "Test of channel-cut perfect crystals for neutron small angle scattering experiments", Nucl. Instr. & Meth., A239, 229-33, 1985.
- [5] M. Agamalian, G.D. Wignall & R. Triolo, "Recent Development in Ultra-Small Angle Neutron Scattering Techniques", Neutron News, v.9, №2, 24-28, 1998.

Инструментальные линии нейтронного спектрометра с четырехкристалльным монохроматором

Н.О. Елютин, Д.В. Львов, А.Н. Тюлюсов

ГНЦ РФ Институт теоретической и экспериментальной физики, Москва, Россия

Нейтронный спектрометр с четырехкристалльным монохроматором (см. рис.) предназначен для широкого ряда нейтрон-дифракционных экспериментов.

Предлагаемая геометрия блока монохроматизации, когда первая и вторая пара (1, 2 и 3, 4 соответственно) представляют параллельную позицию, а между собой установлены в антипараллельной, позволяет совместить высокое угловое и энергетическое разрешение, что подтверждается экспериментальными данными [1].

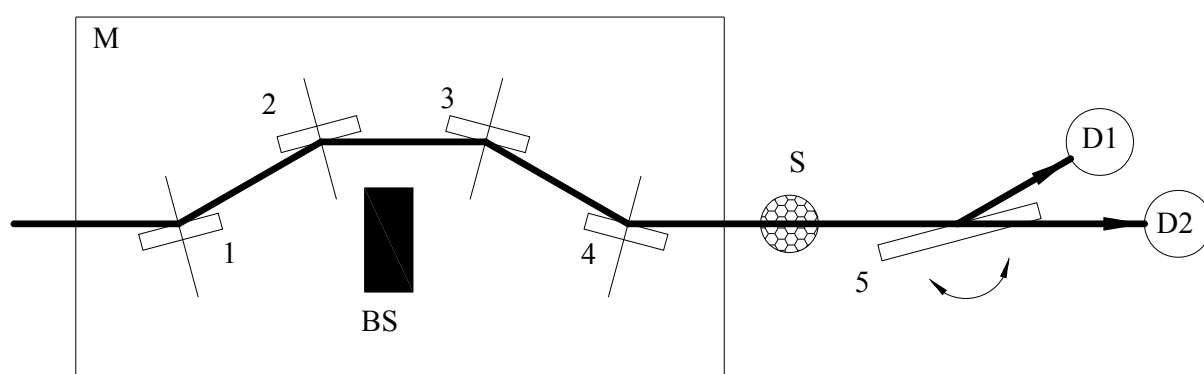


Рис. М — блок монохроматизации, BS — ловушка прямого пучка, S — образец, D1, 2 — детекторы, 1—4 — кристаллы монохроматоры, 5 — кристалл-анализатор.

На основе теоретических коэффициентов динамического отражения и пропускания тепловых нейтронов [2] рассчитаны инструментальные линии показанной на рисунке спектрометрической схемы. Они представляют собой кривые качания, регистрируемые детекторами D1 и D2 в отсутствие образца S при повороте кристалла-анализатора 5. Расчеты проведены в случае, когда все четыре кристалла блока монохроматизации М совершенны. Кроме этого при мозаичных кристаллах 1, 2, при этом кристаллы 3 и 4 остаются совершенными.

Расчетные кривые подтверждают возможность использования данной схемы в нейтрон-дифракционных экспериментах с высоким энергетическим и угловым разрешением.

[1] Ю.Г. Абов, Ф.Г. Кулиджанов, Н.О. Елютин, А.О. Эйшлин, "Изучение нейтронно-оптических эффектов в идеальных кристаллах", в книге *"Нейтронная физика", материалы бой Всесоюзной конференции по нейтронной физике, Киев, 2—6 октября 1983* (ЦНИИ-Атоминформ, М., 1984), т. 3. с. 299.

[2] Ю.Г. Абов, Н.О. Елютин, А.Н. Тюлюсов, ЯФ, **65**, 1989 (2002).

Спектрометр возмущенных угловых гамма-гамма корреляций для изучения сверхтонких взаимодействий, возникающих в конденсированных средах при низких температурах и высоких давлениях

А.В. Саламатин¹, А.В. Цвященко^{2,4}, М. Budzynski³, А.И. Величков¹,
В.А. Трофимов¹, Д.А. Саламатин², А.В. Федоров², Л.Н. Фомичева²,
Г.К. Рясный⁴, Д.В. Караиванов¹

¹Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

²Институт физики высоких давлений им. Л.Ф. Вережагина РАН, Троицк, Россия

³Institute of Physics, M. Curie-Skłodowska University, Lublin, Poland

⁴Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына, Москва, Россия

Четырех-детекторный спектрометр [1], предназначенный для измерения спектров возмущенных угловых гамма-гамма корреляции (ВУК), был оснащен оптическим четырех-оконным криостатом фирмы «JANIS» (модифицированная модель SHI-950). Криостат позволяет проводить измерения спектров ВУК в диапазоне температур от 4 до 300 К. В модифицированный канал криостата устанавливается камера высокого давления поршень-цилиндр [2], способная на образце генерировать давление до 2 ГПа.

Новый экспериментальный комплекс позволяет исследовать магнитные фазовые диаграммы систем с сильной электронной корреляцией в широком диапазоне давлений и температур.

В первых тестовых экспериментах при температуре 4 К были проведены измерения сверхтонкого магнитного поля в кубической фазе Лавеса GdCo_2 на пробных ядрах ^{111}Cd , локализованных в сферически-симметричных узлах гадолиния (см. рис. 1). При давлении 1.8 ГПа была измерена зависимость квадрупольной частоты в интервале температур от 4 до 300 К в соединении ZrZn_2 , в котором пробные ядра ^{111}Cd , локализовались в узле Zn, обладающего аксиальной 3m симметрией (на рис.2 показан спектр анизотропии при температуре 4 К и давлении 1.8 ГПа).

Работа была поддержана Программой уполномоченного представителя Польши в ОИЯИ и Российским фондом фундаментальных исследований, грант № 11-02-00029.

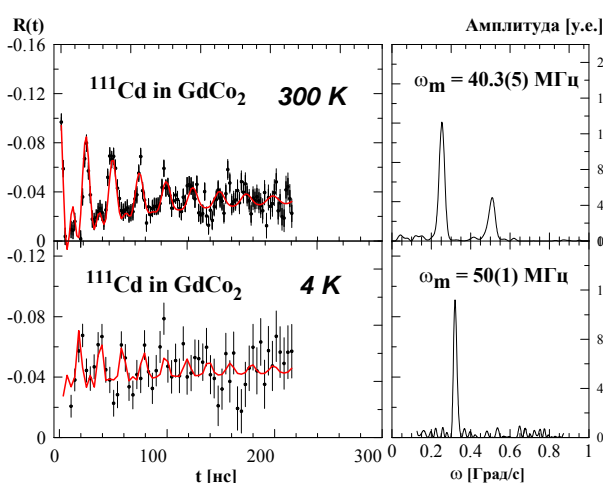


Рис. 1.

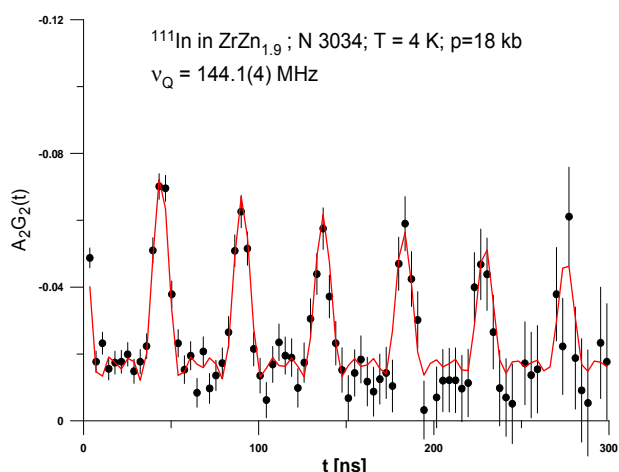


Рис. 2.

- [1] V.B. Brudanin, et al., “PAC spectrometer for condensed matter investigation” // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, v. 547, p. 389-399, 200.
[2] A.N. Voronovskii, E.M. Dizhur, and E.S. Itskevich, Zh. Eksp. Teor. Fiz. **77**, 1119 (1979) [Sov. Phys. JETP **50**,564 (1979)].

^{111}Cd -PAC Study of Pressure Effect on the Yb valence in the Cubic Phase $\text{YbGe}_{2.85}$

A.V. Tsvyashchenko^{1,3}, A. Velichkov², A.V. Salamatina², L.N. Fomicheva¹, D.A. Salamatina¹,
G.K. Ryasniy³, A.V. Nikolaev³, M. Budzynski⁴, R.A. Sadykov^{1,5}, A.V. Spasskii³

¹*Vereshchagin Institute for High Pressure Physics, Troitsk, Russia*

²*Joint Institute for Nuclear Research, Moscow, Russia*

³*Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

⁴*Institute of Physics, M. Curie-Skłodowska University, Lublin, Poland*

⁵*Institute for Nuclear Research of RASs, Troitsk, Russia*

The method of perturbed angular $\gamma\gamma$ -correlation (PAC) was first investigated by electric quadrupole interaction arising at the probe nuclei ^{111}Cd in the new cubic phases $\text{YbGe}_{2.85}$, $\text{TbGe}_{2.85}$ and $\text{DyGe}_{2.85}$ (type AuCu_3), synthesized at 8 GPa. The PAC anisotropy time spectra were characterized by a single quadrupole frequency with $\eta = 0$, as the Ge site is 4/mmm symmetry. At normal pressure for $\text{YbGe}_{2.85}$ the PAC frequencies $\nu_Q = eQV_{zz}/h = 23.8$, for $\text{TbGe}_{2.85}$ $\nu_Q = 37.5$ and $\text{DyGe}_{2.85}$ $\nu_Q = 38.0$ MHz. At increase pressure up to 8 GPa the time spectra vs. a external pressure were measured for compound $\text{YbGe}_{2.85}$ and the values of quadrupole frequency were defined. From values of quadrupole frequency the pressure dependence of Yb valence was determined. In this range of the pressure the Yb valence varied from 2.46 to 2.89.

The work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (grant No 11-02-00029).

**Исследование радиационной стойкости фуллеренов C₆₀, C₇₀
и эндометаллофуллеренов Tb@C_{2n} и Gd@C_{2n}**

В.А. Шилин

Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия

Проведено облучение фуллеренов и эндометаллофуллеренов быстрыми нейтронами в диапазоне флюенсов 10^{16} - 10^{18} н/см². В каждом случае проведено экстрагирование фуллеренов из облученных образцов, проведено сравнение массы растворенных фуллеренов и нерастворимого остатка с массой исходного материала, что позволило найти процент выживших при облучении фуллеренов в зависимости от флюенса. Дальнейшие исследования растворимых продуктов были выполнены методами хроматографии и масс-спектрологии.

Расчет вероятности квантовых переходов УХН в гравитационной ловушке под действием электромагнитного излучения методом функционала влияния

А.А. Бирюков¹, В.Ф. Ежов², М.А. Шлеенков¹

¹ Самарский государственный университет, Самара, Россия

² Петербургский институт ядерной физики НИЦ КИ, Гатчина, Россия

Для описания динамики квантовых систем, взаимодействующих с электромагнитными полями, удобно использовать метод функционала влияния в формализме функционального интегрирования [1]. Данный метод позволяет представить вероятности квантовых переходов исследуемой системы как функциональное усреднение функционала влияния окружения на данную квантовую систему. Подход, основанный на данном формализме, является непerturbативным, а также позволяет описывать немарковские процессы. Данным методом успешно была описана динамика процессов квантовых переходов в атомах, взаимодействующих с электромагнитным полем [2]. В данной работе на основании предложенного метода описания квантовых систем исследуется возможность охлаждения ультрахолодных нейтронов (УХН) в гравитационных ловушках.

В настоящее время наиболее перспективной площадкой для измерений времени жизни и поиска ЭДМ нейтрона становятся эксперименты с УХН [3,4], температура которых меньше 1 мК. Такие нейтроны обладают достаточно большими длинами волн (более 1 мкм), что приводит к возможности их удержания и исследования в ловушках различного рода [5].

В гравитационных и магнитных ловушках нейтроны обладают дискретным спектром энергии, причем УХН с температурой порядка 1 мК занимают достаточно высокие энергетические уровни (порядка 500-600). В связи с этим возникает задача о возможности дальнейшего их охлаждения до более низких температур. Так, в различных работах, утверждается, что нейтроны, расположенные на низких уровнях имеют температуру порядка 1 нК [6].

Для решения данной задачи исследована эволюция матрицы плотности УХН в гравитационной ловушке, взаимодействующих с переменным магнитным полем в формализме интегралов по траекториям. Найден явный вид функционала влияния магнитного поля. Вероятности квантовых переходов нейтронов между уровнями энергии представляется как усреднение функционала влияния.

Вычисления вероятностей квантовых переходов в низших порядках теории возмущений указывают на принципиальную возможность перехода нейтрона на более низкие уровни при взаимодействии с переменным магнитным полем определенной частоты и напряженности.

- [1] Р. Фейнман, А. Хибс, Квантовая механика и интегралы по траекториям, М.: Мир, 1968. 382 с.
- [2] А.А. Бирюков, М.А. Шлеенков, Наносистемы: физика, химия, математика, 3, 42-50, 2012.
- [3] A.P. Serebrov, S.T. Boldarev, A.N. Erykalov, et al., Physics Procedia 17, 251-258 (2011).
- [4] В.В. Федоров, Нейтронная физика, Санкт-Петербург: ПИЯФ РАН, 2004, 334 с.
- [5] В.Ф. Ежов, Б.А. Базаров, П. Гельтенборт и др., Письма в ЖТФ, том 27, вып. 24, 64-70 (2001).
- [6] В.В. Несвижевский, УФН **174**, 569–576 (2004).

Исследование массивных сверхпроводниковых материалов $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ методом нейтронной лауэграфии

Е.В. Яковенко, Е.П. Красноперов

НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия

Нейтронная диагностика сверхпроводниковых материалов для технических приложений представляет большой интерес, поскольку позволяет получить структурную информацию о строении массивных изделий на макроскопическом и атомарном уровне. В нашей работе на реакторе ИР-8 (НИЦ КИ) были проведены нейтронографические исследования серии образцов $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$, полученных методом охлаждения расплава. Лауэграфия на полихроматическом пучке тепловых нейтронов выявила целый спектр структурных состояний от монокристалла со слабой мозаичностью до поликристаллического порошка (Рис.). Таким образом, нейтронная лауэграфия зарекомендовала себя как превосходный метод структурного экспресс-анализа массивных сверхпроводников $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$.

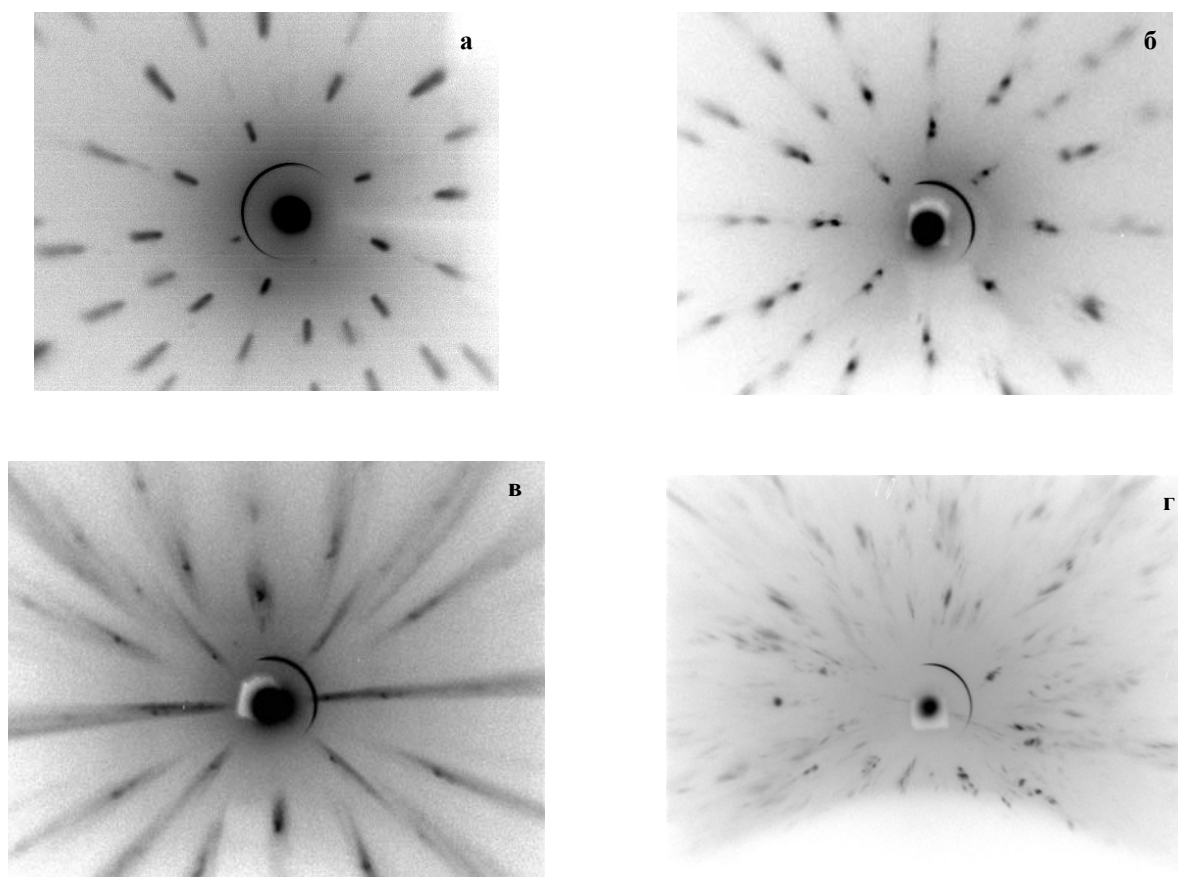


Рис. Лауэграммы монокристаллических (а,б) и поликристаллических (в,г) образцов $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$. Детектор Imaging Plate, экспозиция 40 мин. Реактор ИР-8 (НИЦ КИ), канал №7.

Budapest Neutron Centre – 20 years experience of international user operation

László Rosta

Wigner Research Centre for Physics, Hungarian Academy of Sciences, Budapest, Hungary

The Budapest Research Reactor (BRR) was built as a twin of the Gatchina VVR-M reactor in 1957-59. It was restarted after an essential refurbishment in 1992. At that time the practically brand-new 10 megawatt reactor was opened for the international user community. The reactor reached its nominal power in May 1993 and neutron beam experiments were available on 4 instruments. The Budapest Neutron Centre (BNC) was also organised in 1992 for the utilisation of BRR facilities. Thanks to a continuous development the number of experimental stations now is 15, the research staffs has grown from 10 to nearly 60 scientists and research facilities have been improved considerably. A few important milestones should be mentioned: a liquid hydrogen cold source was installed in cooperation with PNPI and the neutron guide system was replaced by a supermirror guide configuration, yielding a factor of 50-80 gain in neutron intensity; a second guide hall was constructed to house a new time-of-flight instrument; BRR became a member of the European neutron scattering network (NMI3). In 2010, the core conversion programme was completed, namely the change of the fuel from high enriched uranium (HEU) to low enriched uranium (LEU) and subsequently a stock of new fuel elements will ensure the safe operation of BRR for at least a decade to come.

The utilization of BRR aims for 3 major activities: i) Research and development base for the energy sector: scientific and safety support for the national NPP; research in energy saving and production. ii) A complex source of irradiations for materials testing and modification, diagnostics in nanotechnologies, engineering, healthcare etc. iii) Neutron beams from the horizontal channels of the reactor serve for exploratory as well as for applied research in a very wide range of disciplines. 150-200 experiments per year are performed by the users.

Neutron based research plays crucial role and has very important potentials in science and technology, not only in exploratory research and emerging fields as nano-and bio-technologies, but also non-destructive chemical and structural analysis has become an important tool for identification and provenance studies of archaeological artifacts. Neutron and synchrotron radiation techniques like SANS and SAXS in the research of biological membranes e.g. related to photosynthesis – as a crucial field in energy/biology research – are complementary to reveal structural features for photo-conversion mechanisms in plants. As another example, for the investigation of biocompatible materials used in healthcare, calcium silicate ceramics were prepared by sol-gel method. The effects of chemical composition, topological arrangement at atomic level and porous structure at nano and microscopic scale were evaluated by electron microscopy, optical spectroscopy, X-ray and neutron scattering methods. The combination of various methods can provide the complex understanding of functional features and contribute to processing of such materials.

Список участников

№	ФИО	Организция	E-mail	Стр.
1	Balasoiu Maria Alexander	ОИЯИ	balas@jinr.ru	109, 149
2	Bobrikov Ivan	ОИЯИ	bobrikov@nf.jinr.ru	
3	Deleg Sangaa	ОИЯИ	sangaa@nf.jinr.ru	152
4	Egami Takeshi	University of Tennessee	egami@utk.edu	
5	Gorkov Dmitry Wladimirovich	Ruhr University Bochum	dmitry.gorkov@rub.de	110
6	Grushko Yulii Sergeevich	ПИЯФ НИЦ КИ	grushko@pnpi.spb.ru	160
7	Ioffe Alexander	JCNS	a.ioffe@fz-juelich.de	65, 81
8	Jabarov Sakin Sakin	ОИЯИ	sakin@jinr.ru	
9	Katarzyna Luczynska	ОИЯИ	k.luczynska@ichtj.waw.pl	
10	Kulda Jiri	ILL	kulda@ill.eu	22
11	Mamontov Eugene	Oak Ridge National Laboratory	mamontove@ornl.gov	173
12	Pawlukojc Andrzej	ОИЯИ	andrzej@jinr.ru	111
13	Sagan Yaroslav Igorevich	ОИЯИ	yaroslav_sagan@mail.ru	140
14	Shaginyan Vasily	ПИЯФ НИЦ КИ	vrshag@thd.pnpi.spb.ru	46
15	Smirnov Lev Samuilovich	ИТЭФ	lev.smirnov008@rambler.ru	25
16	Szklarz Przemyslaw	ОИЯИ	przemyslaw.szklarz@chem.uni.wroc.pl	113
17	Авдеев Михаил Васильевич	ОИЯИ	avd@nf.jinr.ru	52
18	Агафонов Сергей Сергеевич	НИЦ КИ	agaph@mail.ru	
19	Аксенов Сергей Николаевич	ИЯИ РАН	serg.asd@mail.ru	

20	Алексеев Павел Александрович	НИЦ КИ	paval@issph.kiae.ru	23
21	Ангел Лилия Васильевна	ОИЯИ	angel@nf.jinr.ru	148
22	Андреев Всеволод Владимирович	ЧГУ	andreev_vsevolod@mail.ru	
23	Андроникова Дарья Александровна	СПбГПУ	andronikova.daria@gmail.com	114
24	Арзуманов Семен Самвелович	НИЦ КИ	sarzmanov@yandex.ru	153
25	Балагуров Анатолий Михайлович	ОИЯИ	bala@nf.jinr.ru	115, 154
26	Балашою Гаина Александра	ОИЯИ	balasoiu_alessandra2005@yahoo.com	150
27	Белушкин Александр Владиславович	ОИЯИ	belushk@nf.jinr.ru	
28	Белушкин Александр Владиславович	ОИЯИ	abelushk@nf.jinr.ru	
29	Беляев Сергей Павлович	ПИЯФ НИЦ КИ	spb@pnpi.spb.ru	98
30	Бескровный Анатолий Иванович	ОИЯИ	beskr@nf.jinr.ru	
31	Бирюков Александр Александрович	СамГУ	biryukov@samsu.ru	
32	Благовещенский Николай Миличевич	ГНЦ РФ ФЭИ	blag@ippe.ru	155
33	Блантер Михаил Соломонович	МГУПИ	mike@blanter.msk.ru	107
34	Бобровский Владимир Иванович	ИФМ УрО РАН	bobrovskii@imp.uran.ru	82
35	Богданов Савва Григорьевич	ИФМ УрО РАН	bsg@imp.uran.ru	116
36	Богдзель Андрей Алексеевич	ОИЯИ	abogdz@nf.jinr.ru	156
37	Боднарчук Виктор Иванович	ОИЯИ	bodnarch@nf.jinr.ru	

38	Боднарчук Ирина Александровна	НИИЯФ МГУ	i.a.bodnarchuk@mail.ru	69
39	Бокучава Гизо Дазмирович	ОИЯИ	gizo@nf.jinr.ru	97
40	Борисов Сергей Аркадьевич	ФТИ им. Иоффе	sborisov@pnpi.spb.ru	
41	Борисова Полина Алексеевна	НИЦ КИ	borisovapa@mail.ru	158
43	Бронвальд Юрий Алексеевич	СПбГПУ	yuramel@gmail.com	54
44	Булкин Алексей Петрович	ПИЯФ НИЦ КИ	apbulkine@pnpi.spb.ru	
45	Валиев Эдуард Зуфарович	ИФМ УрО РАН	valiev@imp.uran.ru	117, 118
46	Вахрушев Сергей Борисович	ФТИ им. Иоффе	s.vakhrushev@mail.ioffe.ru	
47	Вежлев Егор Олегович	ПИЯФ НИЦ КИ	vezhlev@pnpi.spb.ru	56
48	Величко Евгений Владимирович	ПИЯФ НИЦ КИ	evgen@pnpi.spb.ru	99
49	Воробьев Сергей Иванович	ПИЯФ НИЦ КИ	vsiloa@pnpi.spb.ru	
50	Воронин Владимир Иванович	ИФМ УрО РАН	voronin@imp.uran.ru	20, 119
51	Воронин Владимир Владимирович	ПИЯФ НИЦ КИ	vvv@pnpi.spb.ru	70
52	Воронина Ксения Владимировна	ПИЯФ НИЦ КИ	voroninakv@lns.pnpi.spb.ru	28
53	Вохмянин Александр Павлович	ИФМ УрО РАН	avokhm@imp.uran.ru	120
54	Гартвик Андрей	ПИЯФ НИЦ КИ	gartwik@mail.ru	
55	Гаврилов Виктор Николаевич	Физико- энергетический институт АН Латвии	mdmitry@ml.lv	

56	Глазков Виктор Павлович	НИЦ КИ	glazkov@issph.kiae.ru	
57	Голосовский Игорь Викторович	ПИЯФ НИЦ КИ	golosov@pnpi.spb.ru	16, 47
58	Гордеев Геннадий Петрович	ПИЯФ НИЦ КИ	ggordeev@pnpi.spb.ru	
59	Горшкова Юлия Евгеньевна	ОИЯИ	gorshk@nf.jinr.ru	159
60	Гощицкий Борис Николаевич	ИФМ УрО РАН	bng@imp.uran.ru	
61	Григорьев Сергей Валентинович	ПИЯФ НИЦ КИ	grigor@pnpi.spb.ru	38
62	Грузинов Андрей Юрьевич	НИЦ КИ	angruzinov@gmail.com	31
63	Губанова Надежда Николаевна	ПИЯФ НИЦ КИ	gubnn@lns.pnpi.spb.ru	161
64	Губкин Андрей Федорович	ИФМ УрО РАН	agubkin@imp.uran.ru	59
65	Гуреев Александр Иванович	НИЦ КИ	gureevai2012@yandex.ru	162
66	Гурьянов Александр Михайлович	СГАСУ	gurjanovam@mail.ru	163
67	Данг Нгок Тоан	ОИЯИ	dangtoan2107@jinr.ru	121
68	Джабаров Сакин Гамид оглы	ОИЯИ	ekich@mail.ru	60
69	Джепаров Фридрих Саламонович	ИТЭФ	dzheparov@itep.ru	89
70	Драбкин Гильяри Моисеевич	ПИЯФ НИЦ КИ	okorpokov@pnpi.spb.ru	
71	Дубинин Сергей Фёдорович	ИФМ УрО РАН	kokailo@rambler.ru	15
72	Дубовский Олег Андреевич	ГНЦ РФ ФЭИ	dubov@ippe.ru	122

73	Дунаевский Сергей Михайлович	ПИЯФ НИЦ КИ	smd2000@mail.ru	27
74	Дядькина Екатерина Анатолевна	ПИЯФ НИЦ КИ	katy@lns.pnpi.spb.ru	
75	Евстигнеева Мария Александровна	ЮФУ	maevstigneeva@gmail.com	57
76	Ежов Виктор Федорович	ПИЯФ НИЦ КИ	ezhov@pnpi.spb.ru	72
77	Елютин Николай Олегович	ИТЭФ	tyulyusov@yandex.ru	
78	Еремин Роман Александрович	ОИЯИ	era@jinr.ru	33
79	Забенкин Владимир Николаевич	ПИЯФ НИЦ КИ	zabenkin@pnpi.spb.ru	165
80	Залевски Славомир	ОИЯИ	iksciak@op.pl	
81	Захаров Аркадий Анатолевич	ПИЯФ НИЦ КИ	arcady@pnpi.spb.ru	83
82	Зобкало Игорь Александрович	ПИЯФ НИЦ КИ	zobkalo@pnpi.spb.ru	41
83	Иванкина Татьяна Ивановна	ОИЯИ	iti@nf.jinr.ru	92
84	ИВАНОВ Александр Сергеевич	ILL	aivanov@ill.fr	166
85	Иванов Артем Сергеевич	СПбГПУ	Artem-kvn@mail.ru	
86	Иваньков Олександр	ОИЯИ	ivankov@jinr.ru	123
87	Илатовский Андрей	ПИЯФ НИЦ КИ	andreyi@omrb.pnpi.spb.ru	
88	Исаев-Иванов Владимир Васильевич	ПИЯФ НИЦ КИ	isaev@omrb.pnpi.spb.ru	62
89	Калюканов Андрей Игоревич	Филиал ФГУП "НИФХИ им. Л.Я.Карпова"	Kalyukanov@mail.ru	58, 124
90	Кибалин Юрий Андреевич	ПИЯФ НИЦ КИ	yurikibalin@gmail.com	80

91	Киселев Михаил Алексеевич	ОИЯИ	kiselev@nf.jinr.ru	61
92	Кичанов Сергей Евгеньевич	ОИЯИ	ekich@nf.jinr.ru	78
93	Клементьев Евгений Станиславович	ИЯИ РАН	clement@inr.ru	43, 125, 175
94	Клименко Надежда Александровна	НИЯУ МИФИ ИАТЭ	Klimenkonadezda@gmail.com	34
95	Кобылянская Екатерина Геннадьевна	ПИЯФ НИЦ КИ	cathie@lns.pnpi.spb.ru	
96	Ковалев Анатолий Васильевич	ПИЯФ НИЦ КИ	kovalev@pnpi.spb.ru	126
97	Коваленко Екатерина Сергеевна	НИЦ КИ	kovalenko_es@mail.ru	100
98	Кожевников Сергей Васильевич	ОИЯИ	kzh_sv@mail.ru	40
99	Козленко Денис Петрович	ОИЯИ	denk@nf.jinr.ru	127
100	Козлов Валерий Степанович	ПИЯФ НИЦ КИ	vskozlov@pnpi.spb.ru	128
101	Коноплёва Раиса Фёдоровна	ПИЯФ НИЦ КИ	krf@pnpi.spb.ru	157
102	Копица Геннадий Петрович	ПИЯФ НИЦ КИ	kopitsa@pnpi.spb.ru	50
103	Коптелов Эдуард Алексеевич	ИЯИ РАН	koptelov@inr.ru	85
104	Кравцов Евгений Алексеевич	ИФМ УрО РАН	kravtsov@imp.uran.ru	66
105	Кудряшев Валерий Алексеевич	ПИЯФ НИЦ КИ	vkudryashov@pnpi.spb.ru	87
106	Кузнецов Игорь Алексеевич	ПИЯФ НИЦ КИ	ikuz@pnpi.spb.ru	71

107	Кузнецов Сергей Павлович	ФИАН	ckuz@sci.lebedev.ru	167
108	Кузовников Михаил Александрович	ИФТТ РАН	kuz@issp.ac.ru	55
109	Куликов Сергей Александрович	ОИЯИ	ksa@nf.jinr.ru	
110	Кульвелис Юрий Викторович	ПИЯФ НИЦ КИ	kulvelis@pnpi.spb.ru	49, 168
111	Курбаков Александр Иванович	ПИЯФ НИЦ КИ	kurbakov@pnpi.spb.ru	45
112	Лазебник Иосиф Моисеевич	ПИЯФ НИЦ КИ	lazebnik@pnpi.spb.ru	
113	лазуков владимир николаевич	НИЦ КИ	lvn@issph.kiae.ru	129
114	Лазута Александр	ПИЯФ НИЦ КИ	alexandr@VL9467.spb.edu	130
115	Лебедев Дмитрий Витальевич	ПИЯФ НИЦ КИ	dtry@omrb.pnpi.spb.ru	64
116	Лебедев Василий Тимофеевич	ПИЯФ НИЦ КИ	vlebedev@pnpi.spb.ru	48, 170
117	Лебедев Виктор Михайлович	ПИЯФ НИЦ КИ	lebedev@pnpi.spb.ru	169
118	Литвин Василий Сергеевич	ИЯИ РАН	vlitvin@inr.ru	101, 171
119	Лошак Наталия	ОИЯИ	natalialoshak@gmail.com	131
120	Лукин Евгений Валерьевич	ОИЯИ	lukin@jinr.ru	102
121	Лушников Степан Александрович	МГУ	lushnikov@hydride.chem.msu.ru	132
122	Львов Дмитрий Владимирович	ИТЭФ	lvov@itep.ru	172
123	Макарова Ольга Леонидовна	НИЦ КИ	mol99@rambler.ru	17
124	Максимов Вениамин Игоревич	ИФМ УрО РАН	parkhomenko77@mail.ru	19

124	Малеев Сергей Владимирович	ПИЯФ НИЦ КИ		36
125	Маношин Сергей Александрович	ОИЯИ	sergey.manoshin@gmail.com	174
126	Матвеев Василий Александрович	ПИЯФ НИЦ КИ	matveev@lns.pnpi.spb.ru	133
127	Мирмельштейн Алексей Владиславович	РФЯЦ- ВНИИТФ	mirmelstein@mail.ru	
128	Мистонов Александр Андреевич	СПбГУ	mistonov@lns.pnpi.spb.ru	73
129	Митюхляев Виктор Алексеевич	ПИЯФ НИЦ КИ	vicmit@pnpi.spb.ru	84
130	Морозов Сергей Иванович	ГНЦ РФ - ФЭИ	morozov@ippe.ru	176
131	Москвин Евгений Владимирович	ПИЯФ НИЦ КИ	mosqueen@pnpi.spb.ru	37
132	Муругова Татьяна Николаевна	ОИЯИ	murugova@jinr.ru	30
133	Нагорный Анатолий Васильевич	ОИЯИ	avnagorny@jinr.ru	77
134	Налбандян Владимир Бабкенович	ЮФУ	vbn@sfedu.ru	18
135	Нармандах Жаргалан	ОИЯИ	narmandah@jinr.ru	164
136	Натканец Иренеуш	ОИЯИ	inat@jinr.ru	134
137	Немковский Кирилл Сергеевич	JCNS	k.nemkovskiy@fz-juelich.de	44
138	Неов Димитър	ОИЯИ	dneov@abv.bg	177
139	Никитенко Юрий Васильевич	ОИЯИ	Nikiten@nf.jinr.ru	68
140	Никитин Анатолий Николаевич	ОИЯИ	nikitin@nf.jinr.ru	
141	Новиков Аркадий Георгиевич	ГНЦ РФ - ФЭИ	novikov@ippe.ru	51, 135, 178

142	Огурцов Константин Александрович	СПбГТИ	ogurtsov@front.ru	179
143	Окороков Алексей Иванович	ПИЯФ НИЦ КИ	okorokov@pnpi.spb.ru	
144	Орлов Андрей Викторович	ГНЦ РФ ФЭИ	orlovav@ippe.ru	26, 136
145	Осинская Юлия Владимировна	СамГУ	ojv@samsu.ru	
146	Пантелеев Цветан Ценов	ОИЯИ	cvetan@nf.jinr.ru	180
147	Папушкин Игорь Викторович	ОИЯИ	piv@nf.jinr.ru	181
148	Пархоменко Виталий Данилович	ИФМ УрО РАН	parkhomenko@imp.uran.ru	
149	Паршин Петр Петрович	НИЦ КИ	zempl@issph.kiae.ru	24
150	Петренко Виктор Иванович	ОИЯИ	vip@nf.jinr.ru	63, 182
151	Петров Сергей Степанович	СамГУ	serpet1@yandex.ru	
152	Пирогов Александр Николаевич	ИФМ УрО РАН	pirogov05@gmail.com	95
153	Плешанов Николай Константинович	ПИЯФ НИЦ КИ	pnk@pnpi.spb.ru	67
154	Покоев Александр Владимирович	СамГУ	pokoev@samsu.ru	183
155	Попова Светлана Владимировна	УГНТУ	svetpv2007@yandex.ru	
156	Потапова Надежда Михайловна	ПИЯФ НИЦ КИ	potapova@lns.pnpi.spb.ru	53, 137
157	Пучков Александр Валентинович	ГНЦ РФ - ФЭИ	puchkov@ippe.ru	88
158	Раджабов Али Кароматович	ПИЯФ НИЦ КИ	akr@pnpi.spb.ru	138
159	Раевска Альдона	ОИЯИ	aldonar@jinr.ru	151

160	Райтман Эрнст Аронович	Физико- энергетический институт АН Латвии	mdmitry@delfi.lv	112
161	Робук Виктор Николаевич	ОИЯИ	robuk@jinr.ru	
162	Рогачев Андрей Вячеславович	ОИЯИ	rogachev@nf.jinr.ru	
163	Рубцов Арсений Борисович	ОИЯИ	arseniy.rubtsov@gmail.com	103
164	Рунов Владимир Владимирович	ПИЯФ НИЦ КИ	runov@pnpi.spb.ru	39
165	Руткаускас Антон Владимирович	ОИЯИ	antonkas71@gmail.com	139
166	Савенко Борис Николаевич	ОИЯИ	savenko@nf.jinr.ru	184
167	Садыков Равиль Асхатович	ИЯИ РАН	rsadykov@inr.ru	86, 141, 185
168	Самойленко Сергей Александрович	ОИЯИ	samoilenko_pp@mail.ru	79
169	Сахарова Людмила Александровна	ГНЦ РФ - ФЭИ	lsakharova@rambler.ru	35
170	Семенихин Сергей Юрьевич	ПИЯФ НИЦ КИ	ssy@pnpi.spb.ru	186
171	Семенов Владислав Александрович	ГНЦ РФ - ФЭИ	semenov@ippe.ru	142
172	Серегин Максим Сергеевич	ФТИ им. Иоффе	horanzon@gmail.com	
173	Сжогина Алина Александровна	СПбГТИ	allin_ok2@mail.ru	
174	Сиколенко Вадим Витальевич	ОИЯИ	vadim.sikolenko@jinr.ru	143
175	Сиротин Александр Петрович	ОИЯИ	Sirotin@nf.jinr.ru	187
176	Соколов Алексей Евгеньевич	ПИЯФ НИЦ КИ	aleksoko@gmail.com	91

177	Соловьев Дмитрий Владимирович	ОИЯИ	DimkaupmL@gmail.com	188
178	Соменков Виктор Александрович	НИЦ КИ	somenkov@issph.kiae.ru	14
179	Сударев Валерий Вячеславович	ГНЦ РФ ФЭИ	valera.sudarev@ya.ru	144
180	Сумин Вячеслав Васильевич	ОИЯИ	sumin@nf.jinr.ru	189
181	Сыромятников Арсений Владиславович	ПИЯФ НИЦ КИ	asyromyatnikov@yandex.ru	42
182	Сыромятников Владислав Генрихович	ПИЯФ НИЦ КИ	svg@pnpi.spb.ru	
183	Сырых Геннадий Федорович	НИЦ КИ	sgf@issph.kiae.ru	190
184	Таран Юрий Владимирович	ОИЯИ	taran@nf.jinr.ru	93
185	Тарнавич Владислав	ПИЯФ НИЦ КИ	tarnavich@lns.pnpi.spb.ru	76
186	Теплых Александр Ернеевич	ИФМ УрО РАН	teplykh@imp.uran.ru	145
187	Топерверг Борис Павлович	ПИЯФ НИЦ КИ	boristop@thd.pnpi.spb.ru	
188	Трунов Дмитрий Николаевич	ИЯИ РАН	redmitr@yandex.ru	104
189	Турченко Виталий Александрович	ОИЯИ	turchenko@jinr.ru	
190	Тюлюсов Антон Николаевич	ИТЭФ	tyulyusov@itep.ru	191, 192
191	Тюняев Андрей Александрович	ВЦ РАН	dazzle@ropnet.ru	
192	Уклеев Виктор	ПИЯФ НИЦ КИ	ukleev@lns.pnpi.spb.ru	75
193	Ульянов Владимир Александрович	ПИЯФ НИЦ КИ	ulyanov@pnpi.spb.ru	
194	Федоров Валерий Васильевич	ПИЯФ НИЦ КИ	vfedorov47@yandex.ru	

195	Федотов Владимир Константинович	ИФТТ РАН	fedotov@issp.ac.ru	146
196	Фыкин Леонид Ефимович	Филиал ФГУП "НИФХИ им. Л.Я.Карпова"	ngkolin48@mail.ru	
197	Хамова Тамара Владимировна	ИХС РАН	LTPP@rambler.ru	29
198	Цвященко Анатолий	ИФВД РАН	tsvyash@hppi.troitsk.ru	193, 194
199	Чеканов Валерий Александрович	ПИЯФ НИЦ КИ	chekanov@pnpi.spb.ru	
200	Черненко Юрий Петрович	ПИЯФ НИЦ КИ	yucher@pnpi.spb.ru	21
201	Четвериков Юрий Олегович	ПИЯФ НИЦ КИ	yurka@lns.pnpi.spb.ru	90
202	Чумаков Андрей Петрович	ПИЯФ НИЦ КИ	chumakov@lns.pnpi.spb.ru	74
203	Чумакова Александра Владимировна	ПИЯФ НИЦ КИ	chumakova@lns.pnpi.spb.ru	108
204	Чураков Андрей Владимирович	ОИЯИ	churakov@nf.jinr.ru	105
205	Шабалин Владимир Викторович	СПбГТИ	sh-12v@yandex.ru	
206	Шахов Федор Михайлович	ФТИ им. Иоффе	fedor.shakhov@mail.ioffe.ru	94
207	Швецов Алексей Валерьевич	ПИЯФ НИЦ КИ	alexxy@omrb.pnpi.spb.ru	32
208	Шеверев Станислав Геннадиевич	ОИЯИ	stas@nf.jinr.ru	106
209	Шерстобитова Елена	ИФМ УрО РАН	sherl@imp.uran.ru	147
210	Шилин Василий Андреевич	ПИЯФ НИЦ КИ	shilin@pnpi.spb.ru	195
211	Шлеенков Марк Александрович	СамГУ	shleenkov@list.ru	196
212	Шушунов Михаил Николаевич	НИЦ КИ	viggenin@yandex.ru	

213	Эм Вячеслав Терентьевич	НИЦ КИ	vtem9@mail.ru	96
214	Яковенко Екатерина Владимировна	НИЦ КИ	eyakovenko@list.ru	197
215	Япрынцев Алексей Дмитриевич	МГУ	yaprynsev@yandex.ru	
216	Rosta Laszlo	KFKI, Будапешт	rosta@szfki.hu	198
217	Cser Laszlo	KFKI, Будапешт	cser.laszlo@wigner.mta.hu	

Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии ФГБУ «ПИАФ»
188300, Гатчина Ленинградской обл., Орлова роща
Зак. 228, тир. 230, уч.-изд. л. 13,5; 24.09.2012 г.
Формат 60x84 1/16, печать офсетная