

**ФЦП «Развитие инфраструктуры
наноиндустрии в Российской Федерации
на 2008 – 2010 годы»**

**ПИЯФ РАН как узловой центр сети
«Нейтронные исследования для
наноиндустрии, методологическое и
образовательное обеспечение»
(Пояснительная записка)**

Гатчина - 2008

Историческая справка

Институт основан в 1971 г. на базе филиала Физико-технического института им. А. Ф. Иоффе. Он носит имя академика Б. П. Константинова, крупнейшего Российского физика-ядерщика, сыгравшего определяющую роль как в становлении и развитии института, так и в формировании программы его научных исследований. Институт представляет собой комплексное научное учреждение, в котором были сосредоточены фундаментальные и прикладные ядерно-физические, биофизические и теоретические исследования. К настоящему времени ПИЯФ РАН им. Б. П. Константинова является крупнейшим академическим институтом, имеющим замечательные научные результаты, сформировавшийся коллектив и ясные перспективы развития.



Основные направления научных исследований

- Нейтронная физика
- Физика элементарных частиц и фундаментальных взаимодействий
- Ядерная физика
- Физика конденсированного состояния
- Теоретическая физика
- Физика и техника реакторов и ускорителей
- Молекулярная и радиационная биофизика
- Медицинские прикладные исследования
- Оптические методы измерений
- Распределенные вычисления и информационные технологии
- Новые методы и аппаратура для научных исследований

Кадровый состав института

В институте работает около 2000 сотрудников. Среди них 600 научных и 800 инженерно-технических сотрудников. В том числе 300 кандидатов и 70 докторов наук. За последние годы семь сотрудников института были избраны членами-корреспондентами Академии наук, а двое академиками.

Международное сотрудничество

Институт проводит совместные исследования и участвует в подготовке крупных проектов в области фундаментальной и прикладной физики с крупнейшими международными организациями –

- Европейский центр ядерных исследований, Швейцария
- Национальная лаборатория им. Э. Ферми, США

- Брукхейвенская национальная лаборатория, США
- Международный Институт им. Лауэ-Ланжевена, Франция
- Лаборатория им. Л. Бриллюэна, Франция
- Исследовательский центр DESY, Германия
- Исследовательский центр GSI, Германия
- Институт Гана – Мейтнер, Германия
- Институт им. П. Шерера, Швейцария и др.

Наиболее крупные международные проекты

- эксперименты ATLAS, CMS, ALICE, LHCb на большом адронном коллайдере в ЦЕРН
- эксперимент D0 во ФНАЛ
- эксперимент ФЕНИКС на релятивистском коллайдере RHIC
- коллаборация HERMES на ускорителе HERA
- эксперименты с ультрахолодными нейтронами в ILL.

Основные экспериментальные установки

- Исследовательский реактор ВВР-М
- Протонный синхроциклотрон
- Критический стенд
- Малые ускорители
- Лазерно-ядерный комплекс исследования короткоживущих ядер
- Комплекс протонной терапии
- Строящийся высокопоточный исследовательский реактор ПИК

ПИЯФ РАН обладает уникальным оборудованием, которое позволяет проводить комплексные исследования, как новых материалов и наноструктур, новых технологий и устройств в области наноизмерительных систем, так и сложных биологических и живых систем. Без проведения подобных исследований немыслима разработка новых наноматериалов, нано- и биотехнологий. Многолетний опыт и имеющееся дорогостоящее оборудование, основные параметры которого находятся на уровне лучших мировых образцов, а зачастую и превосходят их, предоставляют уникальные возможности для развития технологий атомной энергетики, ядерного топливного цикла, безопасного обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом, а также технологий водородной энергетики и биоинженерии.

Основные уникальные базовые установки ПИЯФ РАН (реактор ВВР-М, протонный синхроциклотрон и малые ускорители) оснащены специальным экспериментальным, диагностическим, метрологическим, научно-технологическим и производственным оборудованием, а также иными приборами и устройствами, которые позволяют обеспечивать успешное проведение широчайшего круга исследований в области нанотехнологий и наноматериалов.

Реактор ВВР-М.

На действующем реакторе средней мощности ВВРМ-М размещено более 20 уникальных инструментов, которые позволяют проводить исследования практически во

всех тематических направлениях деятельности национальной нанотехнологической сети. Большинство этих инструментов не имеет аналогов в России, а сам реактор ВВР-М после остановки реактора ИБР в Дубне на реконструкцию, остался практически единственным эффективно используемым исследовательским реактором в России. Все эти уникальные инструменты включены в состав центра коллективного пользования Ядерно-физические исследования и инновации (ЦКП ПИЯФ ЯФИИ) и доступны всем исследователям России.

Только за последние годы в ПИЯФ РАН с использованием нейтронов проведен широкий круг наноструктурных исследований, результаты которых носят принципиальный характер для разработки новых материалов:

- 1) Исследование магнетизма и структуры материалов в «ограниченной геометрии» (И.В.Голосовский)
- 2) Исследование наноструктур (лаб. В.П.Плахтия, В.В.Рунова)
- 3) Получение нового класса эндофуллеренов – триметаллонитридов и исследование химических последствий (n, γ) – реакции в них (лаб. Ю.С.Грушко)
- 4) Исследованы особенности вихревой структуры критического состояния в гранулированных высокотемпературных сверхпроводящих (ВТСП) материалах (гр. О.В.Герашенко)
- 5) Исследуются материалы с памятью формы (лаб. В.В.Рунова, гр. Р.Ф.Коноплево́й)
- 6) Разрабатываются нейтрон-захватные методы получения радиометаллофуллеренов для целей ядерной медицины (лаб. Ю.С.Грушко)
- 7) Исследуются катализаторы химических реакций (лаб. В.А.Трунова)
 - а) На основе проведенных структурных исследований феноксииминных комплексов Ti и Zr дано объяснение функциональных свойств современных катализаторов для эффективного синтеза полиэтилена низкого давления, изготавливаемых на их основе.
 - б) Установлена необычная кластеризация меди и водорода в ZnO матрице, образующейся в результате отжига в атмосфере водорода соединений типа $Zn_{1-x}Cu_xO$ (катализаторы при производстве метанола). Оказалось, что водород находится внутри медного коры (кластера) и адсорбирован на его поверхности с существенно меньшей плотностью. Новые данные о структуре катализатора являются очень важными для выяснения механизма его действия.
- 8) Исследуются фотонные кристаллы которые рассматриваются в качестве оптических аналогов электронных полупроводников, а значит, могут являться основой создания **новых приборов квантовой электроники и телекоммуникационной индустрии.**
- 9) Ведется исследование функциональных материалов, т.е. материалов, обладающих заданными физическими или химическими свойствами, используемыми в приборостроении или в других областях человеческой деятельности, является приоритетным направлением, определяющим научно-технический прогресс общества.
- 10) Объединение в нейтронных исследованиях в единое направление методов и техники малоуглового упругого и квазиупругого рассеяния позволяет изучать структуру и динамику огромного разнообразия молекулярных систем в растворах и твердой фазе:
 - а) Синтетические и биополимеры в растворах и блоке
 - б) Атомные кластеры и производные (фуллерены, нанотрубки)

- с) Гибридные структуры полимеров и наночастиц с валентными и невалентными связями между компонентами (звездообразные полимеры, комплексы сложных ароматических молекул – порфиринов, дифталоцианинов, фуллеренов с полимерами)
 - d) Полимерные сетки и мембраны из амфифильных макромолекул (иономеры, полиэлектролиты)
 - е) Феррожидкости, стабилизированные олигомерными и полимерными поверхностно-активными веществами (носители лекарственных и других функциональных препаратов в клетки).
- 11) Дифрактометр «Мембрана-2» является единственным в России крупномасштабным прибором малоуглового рассеяния на стационарном источнике нейтронов для решения широкого круга задач физики полимеров, молекулярной биологии.
- 12) Спин-эхо спектрометр на оригинальном принципе модуляции спектра фазой прецессии нейтрона не имеет аналогов в мире и позволяет решать задачи анализа квазиупругого ядерного и магнитного рассеяния с разделением при спиновой зависимости рассеяния, что позволяет изучать не только динамику молекулярных, но и магнитных систем.

Столь широкий круг исследований на реакторе ВВР-М обусловлен тем, что за последние 15 лет в мире произошел качественный скачок в области нейтронной физики. Нейтроны вышли из области фундаментальных исследований и получили широкое применение в совершенно неожиданных сферах человеческой деятельности. Сфера их применения практически неограниченна. Она простирается от исследования прочности материалов, исследований в области водородной энергетики и нанотехнологий до изучения сложнейших биологических систем и медицины. Их применяют в моторостроении, контроле сложнейших химических процессов, создании новых косметических препаратов и нанотехнологий, даже в археологии. К сожалению, Россия, бывшая до сих пор законодателем мод в нейтронной физике, оказалась на обочине этого бурного мирового процесса. Обусловлено это тем, что в то время как во всем мире за последние 15 лет введены в строй десятки первоклассных исследовательских реакторов, в России были остановлены практически все интенсивные исследовательские нейтронные источники.

Комплекс исследовательского реактора ВВРМ предназначен для проведения широкого круга работ в области физики твердого тела и ядерной физики, физики конденсированного состояния и биологии, химии, геофизики и материаловедения, а также для решения многих прикладных задач в интересах экономики страны. В последние годы использование нейтронов в промышленности претерпело качественный скачок, который обусловлен бурным развитием нанотехнологий и биотехнологий, созданием новых наноматериалов и развитием технологий водородной энергетики. Область использования нейтронов простирается от размеров < 0.05 нм до 1000 нм. Благодаря своим уникальным свойствам (электронейтральности и слабому поглощению в большинстве материалов) нейтроны позволяют проводить неразрушающий контроль качества выпускаемой продукции и структуры материалов. Возможности их применения простираются от контроля химических реакций в батарейках и качества закалки коленчатых валов автомобильных двигателей до создания новых биотехнологий и медицинских препаратов. Нейтроны – уникальный инструмент для исследования

структуры и свойств различных молекулярных объектов при развитии биокаталитических, биосинтетических и биосенсорных технологий. В водородной энергетике они позволяют «увидеть» легкие атомы водорода на фоне тяжелых атомов, что особенно важно при создании топливных элементов, в которые атомы водорода внедряются, как в резервуар для хранения. Нейтроны также незаменимы при развитии технологий атомной энергетики, ядерного топливного цикла и безопасного обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом.

Нейтроны – идеальный инструмент для исследования различных веществ. Их высокая эффективность обусловлена уникальными свойствами нейтронов:

- Нейтроны электрически нейтральны, поэтому их проникающая способность значительно превышает проникающую способность электронов и даже рентгеновских лучей. Это позволяет проводить неразрушающий контроль деталей и материалов, находящихся в экстремальных условиях, например, внутри ячейки сверхвысокого давления, в высокотемпературной печи или внутри криостата.
- Рентгеновское излучение рассеивается электронной оболочкой, в то время как нейтроны взаимодействуют только с ядрами. Поэтому они позволяют с большей точностью локализовать положение атомов.
- Нейтроны обладают магнитным моментом, поэтому они являются великолепным инструментом для исследования магнитной структуры вещества.
- Энергия тепловых нейтронов близка к энергии колебаний атомов, поэтому они являются также уникальным инструментом для изучения межатомных взаимодействий и динамики атомов внутри вещества.

Благодаря этим и другим, не перечисленным выше особенностям, нейтронное излучение имеет весьма широкую сферу применения как в фундаментальной науке, так и в прикладных исследованиях.

Наноматериалы. Нейтронное излучение позволяет получать информацию о магнитной и молекулярной структуре наночастиц и нанокластеров, включая молекулярные магниты, эффективные катализаторы, фуллерены и металлофуллерены.

Водородная энергетика. Благодаря высокой чувствительности нейтронов к легким атомам (таким как водород) нейтронное излучение позволяет исследовать структуру накопителей водорода, водородных топливных элементов и их поведение при многократном использовании (циклировании).

Магнитная электроника. Наличие у нейтронов магнитного момента позволяет их использовать при исследовании магнитных материалов, сверхпроводников, магнеторезисторов и т. д.

Материаловедение. Высокая проникающая способность нейтронов дает возможность использовать нейтронное излучение для определения (без разрушения конструкций) упругих напряжений в деталях, обнаруживать дефекты на первой стадии их зарождения. Это особенно важно для конструкций, работающих в экстремальных условиях.

Биотехнологии. Зарядовая нейтральность нейтронов и их избирательная чувствительность к изотопному составу дают возможность локализовать атомы водорода (дейтерия), кислорода и углерода в органических молекулах белков и их биологически активных производных, что крайне важно при разработке лекарственных препаратов.

К этому надо добавить традиционно используемые методы производства радиоизотопов, нейтронного активационного и радиационного анализа, нейтронной терапии рака и др.

Действующие установки на реакторе ВВР-М

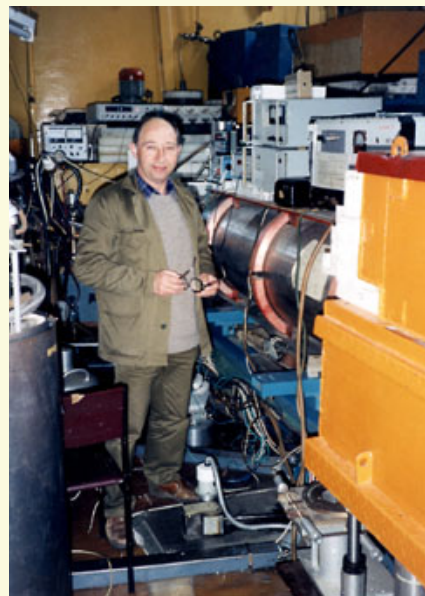
Лаборатория физики неупорядоченного состояния

В.В.Рунов, канд. физ.-мат. наук, снс

Малоугловой дифрактометр "Вектор"

Мультидетекторная установка малоуглового рассеяния поляризованных нейтронов с анализом поляризации рассеянных нейтронов. Используется для исследования надатомных ядерных и магнитных структур масштаба $100-5000 \text{ \AA}$.

Основные исследования ведутся в области физики магнитных критических явлений



Физические параметры

- длина волны нейтронов $(7-12) \text{ \AA}$, $\Delta\lambda/\lambda = 10-30\%$;
- диапазон переданных импульсов $(5 \cdot 10^{-3} - 10^{-1}) \text{ \AA}^{-1}$;
- средний поток тепловых нейтронов на образце $1.7 \cdot 10^4 \text{ н/см}^2/\text{сек}$ (при $\lambda = 8 \text{ \AA}$, $\Delta\lambda/\lambda = 25\%$);
- максимальный размер пучка на образце $8 \cdot 40 \text{ мм}^2$;
- поляризация падающих на образец нейтронов 95%;

Особенности прибора

- анализ поляризации во всем диапазоне углов рассеяния;
- имеется возможность термостатирования образцов в диапазоне 4-1000 К;
- имеется возможность работать в магнитных полях до 6 кЭ.

Лаборатория физики неупорядоченного состояния

Заведующий лабораторией **В.В.Рунов**, канд. физ.-мат. наук, снс

Малоугловой нейтронный дифрактометр

для изучения надатомной структуры конденсированных сред масштаба 200-1000 Å.

Основные направления исследований:
полимеры, коллоидные системы, материаловедение.



Физические параметры

- диапазон переданных импульсов
(0.0013 Å^{-1} - 0.6 Å^{-1});
- спектры падающего на образец пучка:

интегральный спектр

$$\langle \lambda \rangle = 2.2 \text{ Å}, \Delta\lambda/\lambda = 0.35;$$

монохроматический спектр:

$$2.2 < \lambda < 5 \text{ Å}, \Delta\lambda/\lambda = 0.1;$$

- интенсивность потока тепловых нейтронов на образце:

интегральный спектр

$$1 \cdot 10^5 \text{ н см}^{-2} \text{ сек}^{-1};$$

монохр. спектр

$$1 \cdot 10^4 \text{ н см}^{-2} \text{ сек}^{-1} (\lambda = 2.3 \text{ Å});$$

- максимальное сечение пучка на месте образца $8 \times 60 \text{ мм}^2$.

Особенности прибора

- щелевая геометрия;
- магнитный монохроматор поляризованных нейтронов;
- возможность проведения температурных исследований в диапазоне 4.2-400 К со стабилизацией температуры;

возможность установки оборудования пользователей для создания условий на образце.

Лаборатория физики кристаллов

Заведующий лабораторией
В.П.Плахтий, докт. физ.-мат. наук, профессор

Время-пролетный спектрометр

Ответственный физик:
И.А.Зобкало, канд. физ.-мат наук



Время-пролетный спектрометр для исследования динамики возбуждений в ферро-, антиферромагнетиках, парамагнетиках, а также для дифракционных экспериментов с анализом поляризации рассеянных нейтронов.

Физические параметры

- поток нейтронов на образце $1 \cdot 10^7$ н см⁻² сек⁻¹;
- поляризация пучка $P=0.95$;
- максимальная интенсивность с кристаллом Гейслера в качестве анализатора
($\Delta\lambda/\lambda = 0.04$, $\lambda = 2.5 \text{ \AA}$) 10^5 н см⁻²;
- размер пучка на выходе нейтронотода $19 \cdot 60$ мм²;
- псевдослучайные последовательности 127, 255, 511;
- мин. ширина временного канала 1 мкс;
- число временных каналов, приходящихся на один элемент псевдослучайной последовательности 1-4;
- число каналов на детектор 512;
- разрешение $\Delta = 0.5$ мэВ;

Особенности прибора

- рабочий диапазон температур 1.5-300;
- при работе спектрометра в режиме дифрактометра с анализом поляризации узел образца обеспечивает два независимых поворота (образца и детектора) с точностью 10 угловых секунд в автоматическом режиме.

Группа физики деления ядер

Руководитель группы
Г.А.Петров, докт. физ.-мат. наук, профессор

Механический многороторный монохроматор нейтронов

На ГЭК № 7 располагается экспериментальная установка для получения медленных нейтронов в выделенных узких интервалах их энергий вплоть до (10 - 20) эВ. Установка состоит из четырех синхронизированных по скоростям и фазам вращения массивных металлических роторов, вращающихся в вакууме на магнитных подвесах, пролетной базы порядка 9 м и системы сбора и обработки информации на базе IBM PC.



Плотность нейтронного потока на пролетной базе 9 м составляет $\Phi_n \sim 3 \cdot 10^4 / E$ (1/см²·с·эВ)

для реактора ВВР-М и должна составить $\Phi_n \sim 10^6 / E$ (1/см²·с·эВ) для ГЭК-1 ПИК, в случае переноса данной установки на этот строящийся реактор. Интенсивность монохроматических пучков медленных нейтронов в области энергий $E_n = 10$ эВ сопоставима с лучшими импульсными нейтронными источниками, к примеру, такими как ЛУЭ-40/ИБР-30 (Дубна, Россия), LANSCE (Лос-Аламос, США).

Группа ядерной спектроскопии и активационного анализа

Руководитель группы **Ю.Е.Логинов**, канд. физ.-мат. наук

УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ γ -ИЗЛУЧЕНИЙ В РЕАКЦИИ РАДИАЦИОННОГО ЗАХВАТА НЕЙТРОНОВ ЯДРАМИ

Ответственный физик:

с.н.с. канд. физ. -мат наук **Ю.Е.Логинов**

Установка располагается на горизонтальном канале N° 8 реактора ВВР-М и представляет собой γ -спектрометр, расположенный на выходе нейтроновода, размещенного внутри биологической защиты реактора. Нейтроновод формирует узкий (~1 мм), свободный от быстрых и эпитепловых нейтронов пучок тепловых нейтронов с интенсивностью порядка $2 \cdot 10^7 \text{ н} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$, облучающий исследуемый образец.



Гамма-лучи, сопровождающие захват нейтронов, регистрируются полупроводниковыми детекторами -Si(Li), Ge(Li)

или HPGe-типов. Информация о спектрах γ -излучений накапливается в памяти амплитудного анализатора. Далее спектры аппроксимируются специально разработанными программами согласно различным моделям формы γ -линий.

Установка позволяет решать следующие задачи.

1. Исследование структуры атомных ядер путем измерения γ -спектров и спектров $\gamma\gamma$ -совпадений в ($n\gamma$)-реакции.
2. Количественное определение элементного и изотопного состава исследуемых объектов на основе измерения спектров мгновенного γ -излучения в ($n\gamma$)-реакции.

В течение последних 20 лет были исследованы следующие нечетно-нечетные ядра: ^{104}Rh , ^{108}Ag , ^{110}Ag , ^{114}In , ^{116}In , ^{122}Sb , ^{124}Sb , ^{128}I , ^{130}I , ^{134}Cs , ^{180}Hf , ^{192}Ir , ^{194}Ir . Эти исследования обеспечили существенное продвижение в понимании как структуры этих ядер, так и взаимодействия неспаренных нуклонов в ядерном веществе.

Проводились исследования: определялась чистота материалов для ВТСП, исследовалась динамика поведения сурьмы в процессе приготовления образцов ВТСП, проводилось измерение содержания бора в образцах речных осадков Аргентины, исследовалось содержание бора в геохимических стандартах США и Китая.

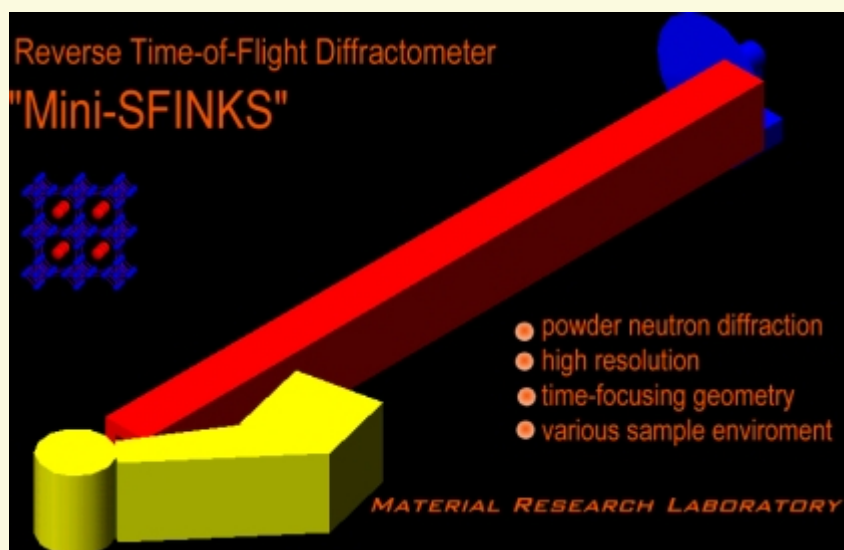
Отметим, что определение содержания бора в различных объектах на основе ($n\gamma$)-реакции является практически единственным методом определения его количества.

Лаборатория исследования материалов

Заведующий лабораторией **В.А.Трунов**, *д.ф.-м.н., профессор*

Дифрактометр Мини-Сфинкс

Нейтронный обратный
Фурье-дифрактометр для
исследования порошковых
образцов.



Физические параметры:

- диапазон длин волн $(0.9-5) \text{ \AA}$;
- диапазон межплоскостных расстояний $(0.5-2.7) \text{ \AA}$;
- разрешение $\Delta d/d = 2.5 \cdot 10^{-3}$;
- средний поток $2 \cdot 10^7 \text{ н/см}^2/\text{сек}$;
- макс. разм. образца: диаметр 8 см, высота 10 см;

Особенности прибора:

- область температур 20-400 К;
- установка с фиксированной геометрией;

Лаборатория физики неупорядоченного состояния

Заведующий лабораторией **В.В.Рунов**, канд. физ.-мат. наук, снс

Спин-эхо спектрометр тепловых нейтронов

Спектрометр квазиупругого рассеяния поляризованных нейтронов с модуляцией спектра фазой прецессии спина нейтрона для исследования низкочастотной динамики как магнитных, так и немагнитных объектов.

Основные исследования ведутся в области физики упорядоченных жидкостей (феррожидкостей) и сверхпроводников.



Физические параметры

- средняя длина волны $\lambda < 1$
 $\geq 6.5 \text{ \AA}$;
- ширина спектра $\Delta\lambda / \lambda \geq 0.3$;
- поляризация на образце $P=0.95$;
- диапазон упругих переданных импульсов $0.01 < Q < 0.3 \text{ \AA}^{-1}$;
- разрешение по переданному упругому импульсу $[\langle Q^2 \rangle - \langle Q \rangle^2]^{1/2} / \langle Q \rangle = 0.29$ для $Q=0.3 \text{ \AA}^{-1}$ и $= 0.15$ для $Q=0.3 \text{ \AA}^{-1}$;
- разрешение по энергии 10^{-7} эВ;
- размер пучка на месте образца $10 \cdot 60 \text{ мм}^2$;
- плотность потока нейтронов на образце $1 \cdot 10^2 \text{ н см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$.

Особенности прибора

- работа в режимах:
 - а. измерение рассеяния;
 - б. магнитная томография;
- термостатирование образца в диапазоне 4.2-300 К;
- возможна установка оборудования пользователей для создания условий на образце. В настоящее время прибор размещен на низкочастотном тангенциальном канале, поэтому работает только в режиме "томография". Требуется светосильный канал для эффективного использования спектрометра.

Лаборатория физики неупорядоченного состояния

Заведующий лабораторией **В.В.Рунов**, канд. физ.-мат. наук, снс

2-х кристальный спектрометр поляризованных нейтронов

предназначен для исследования магнитных неоднородностей в конденсированных средах методом деполяризации нейтронов.

Физические параметры

- длина волны нейтронов
 $1.13 \text{ \AA}$;
- средний поток тепловых нейтронов на образце
 $1 \cdot 10^3 - 1 \cdot 10^4 \text{ н см}^2 \text{ сек}^{-1}$;
- размер пучка на месте образца $5 \times 15 \text{ мм}^2$;

Особенности прибора

- область температурных измерений $> 4.2 \text{ К}$;
- область магн. измерений $H < 4 \text{ Тл}$;
- смена образцов на работающей установке.

Планируется разработка и размещение

Рефлектометра на поляризованных нейтронах с вертикальной плоскостью отражения (РЕВЕРАН)

Прибор предназначается для исследования показателя преломления материалов до глубины $\sim 1000 \text{ \AA}$ с целью определения структурного профиля, а также магнитных свойств около поверхности и профиля намагниченности.

Возможные применения:

- жидкие и твердые поверхности;
- многослойные системы как твердые, так и жидкие;
- магнитные свойства тонких слоев и межфазных границ.

Предполагаемые параметры:

- плоскость рассеяния - вертикальная;
- размер пучка - $(0.01-5) \text{ мм} \times 25 \text{ мм}$, непрерывно изменяемые;
- поляризатор, анализатор - суперзеркала;
- детектор - 20 счетчиков с He^3 CHM-50 с масками;
- длина волны нейтронов - $4-6 \text{ \AA}$;
- угловой диапазон для жидкости - $0^\circ-5^\circ$;
- угловое разрешение - $10''$;
- поток нейтронов на образце - $10^4 \text{ н см}^2 \text{ сек}^{-1}$;
- разрешение по импульсу - $10^{-4}-10^{-3}$.



Отдел нейтронной оптики

Заведующий отделом А.П. Булкин

Двухмодовый рефлектометр на поляризованных нейтронах РПН-2М

Рис.1. Схема двухмодового рефлектометра на поляризованных нейтронах РПН-2М с анализом поляризации после образца.

1 - внутриканальный коллиматор, 2 - монитор, 3 - FeCo поляризатор с постоянным магнитом, 4 - прерыватель нейтронного пучка, 5 - первая формирующая Cd щель, 6 - двойной зеркальный Ni/Ti монохроматор, 7 - первый спин-флиппер, 8 - вторая формирующая Cd щель, 9 - узел образца с электромагнитом, 10 - образец, 11 - второй спин-флиппер, 12 - FeCo/TiZr суперзеркальный анализатор, 13 - Cd щель перед детектором, 14 - детектор (СНМ-17). Стрелками обозначены оси движения юстировочных столиков.

Рефлектометр РПН-2М установлен на горизонтальном тепловом пучке № 13 реактора ВВР-М ПИЯФ.

В рефлектометре реализована возможность работы в двух режимах (модах): по времени пролёта и с постоянной длиной волны. Диапазон по переданному импульсу во время-пролётном режиме 0.045-1.37 nm^{-1} , в режиме с постоянной длиной волны 0.061-1.1 nm^{-1} . Относительная спектральная ширина пика двойного зеркального монохроматора на длине волны 0.137 нм составила $\Delta\lambda/\lambda = 0.05$, при этом поляризация в пике равна 0.976. Для автоматизации работы на рефлектометре была создана программа UNICOM, выполненная в среде WINDOWS.

Созданный в ПИЯФ, двухмодовый рефлектометр поляризованных нейтронов является одним из немногих постоянно действующих приборов, который эффективно используется как для тестирования нейтронно-оптических характеристик поляризующих и неполяризующих суперзеркал, изготавливаемых в Отделе Нейтронной Оптике, так и для проведения исследований процессов зеркального отражения и незеркального рассеяния поляризованных нейтронов на магнитных многослойных структурах, что позволяет получать информацию о состоянии межслойных границ, включая шероховатости и области перемешивания, определять толщины структуры и степень окисления верхних слоёв. Использование второго спин-флиппера позволяет измерять четыре модуля элементов матрицы отражения и получать более полную информацию о магнитном состоянии слоев структуры.

Лаборатория физики кристаллов

Заведующий лабораторией **В.П.Плахтий**, *докт. физ.-мат. наук, профессор*

Четырехкружный дифрактометр для исследований магнитной и кристаллической структуры



Физические параметры:

- монохроматоры CU, GE, PG;
- длины волн: 0.72 Å, 0.89 Å, 1.02 Å, 1.1 Å, 1.66 Å, 1.73 Å;
- поток нейтронов $2 \cdot 10^5$ н см⁻² сек⁻¹;
- сечение пучка на месте образца 10x40 мм² ;

Особенности прибора:

- автоматизированы 4 оси;
- управление от ЭВМ;
- с завершением модернизации появится дополнительная возможность замены гониометрической головки на криостат: 2-300 К;
- детектор движется в вертикальной плоскости в диапазоне от -5 до +30 град

Лаборатория физики неупорядоченного состояния

Заведующий лабораторией **В.В.Рунов**, канд. физ.-мат. наук,
СНС

Малоугловой дифрактометр поляризованных нейтронов с 3-х мерным анализатором поляризации

Прибор предназначен для исследования магнитных неоднородностей (магнитные домены ферромагнетиках, магнитные кластеры в спиновых стеклах и магнитных жидкостях, магнитная текстура магнетиков, вихревая структура в сверхпроводниках).



Физические параметры:

- длина волны нейтронов $2.3 \text{ \AA}$;
- поляризация пучка 0.95;
- поток поляр. нейтронов на образце $3 \cdot 10^3 \text{ н см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$;
- максимальное сечение пучка $25 \times 3 \text{ мм}^2$;
- апертура детектора $1 \cdot 10^{-5} \text{ стер}$;

Особенности прибора:

- измерения в прошедшем пучке;
- возможность ориентации вектора поляризации по 3 осям координат с измерением 3-х проекций при каждой поляризации;
- возможность сканирования образцов тонким пучком (смещение и поворот);
- поля до 100 эрстед;
- возможность создания поля, вращающегося в заданной плоскости.



Группа физики деления ядер

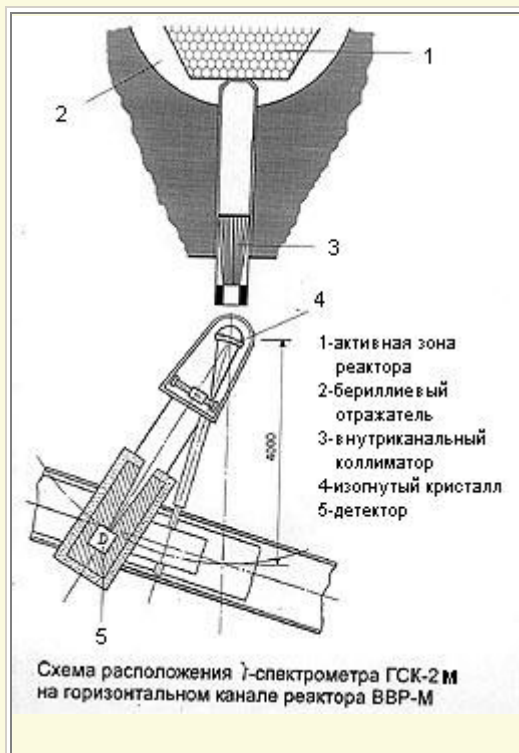
Руководитель группы
Г. А. Петров, *докт. физ.-мат.
наук, профессор*

Кристалл- дифракционный монокроматор нейтронов

Ответственный физик:
Вальский Г.В.

Кристалл-дифракционный монокроматор поляризованных нейтронов установлен на 1-м горизонтальном канале реактора ВВР-М.

- Рабочий диапазон монокроматора с кристаллом гейслерова сплава MnAlCu_2 : 0,02 эВ - 10 эВ.
- Разрешающая способность $\Delta E = 0,21 E^{3/2}$ эВ.
- Поляризация нейтронов в 1-м порядке отражения $\sim 94\%$.
- Поток нейтронов $\sim 1,6 \cdot 10^4 \cdot E^{-1/2} \text{ см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$ в области энергий выше 0,2 эВ на весь диапазон захватываемых в отраженный поток энергий.



Лаборатория рентгеновской и гамма-спектроскопии

Заведующий лабораторией,
д.ф.-м.н., профессор **В.В.Федоров**

Кристалл-дифракционный фокусирующий спектрометр ГСК-2М

Кристалл-дифракционный спектрометр ГСК-2 был сконструирован и построен О.И.Сумбаевым и А.И.Смирновым в 1961 году. Установлен на горизонтальном канале реактора ВВР-М вскоре после его пуска, для изучения гамма-спектров в (n, γ)-реакциях.

Прибор, имеет рекордное разрешение и не имеет себе равных в мире среди фокусирующих спектрометров.

Характеристики кристалл-дифракционного γ -спектрометра ГСК-2М.

- **Тип:**
геометрия Кошуа.
- **Фокусное расстояние:**
4,12 м.
- **Кристалл:**
изогнутый кристалл кварца, плоскости (110). Специальный вырез, для которого отсутствует упругая квазимозаичность и другие типы деформации, приводящие к отклонению равновесной формы изгибаемой пластины от цилиндрической.
- **Детектор:**
Ge(Li) γ -спектрометр, 96 см³.
- **Рабочий диапазон:**
40 - 1000 кэВ (возможно 20 - 1200 кэВ)
- **Энергетическое разрешение:**

$$\Delta E_{\gamma} \text{ (кэВ)} = 8 \cdot 10^{-7} E_{\gamma}^2 \text{ (кэВ)} / n,$$

где n - порядок отражения ($n=1-5$), т.е. если $E_{\gamma} = 100$ кэВ, то $\Delta E_{\gamma} = 8/n$ эВ.
- **Система отсчета углов:**

интерферометр на высокочастотных голографических решетках (патент ПИЯФ). Чрезвычайно малая длина оптического пути (0.05-0.1 мм) обеспечивает высокую стабильность по отношению к вибрациям, изменению температуры, влажности и давления воздуха в экспериментальном зале реактора.

- **Угловая чувствительность:**

0.02 угловой секунды.

- **Точность измерения энергии:**

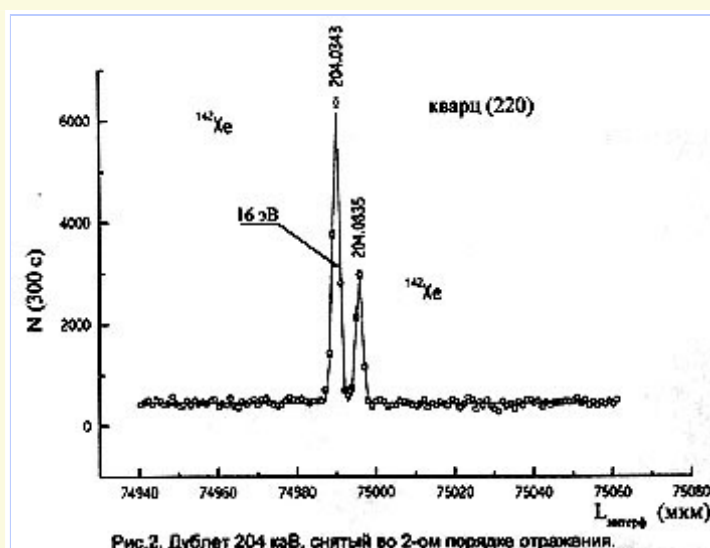
до $2 \cdot 10^{-6}$ (1/25 - 1/5 FWHM).

- **Светосила:**

$I_{\gamma \min}$ вплоть до $4 \cdot 10^{-5}$ /нейтрон.

- **Режим измерения:**

накопление информации в линию с IBM PC AT 486/DX одновременно в пяти порядках отражения на каждой угловой позиции спектрометра.



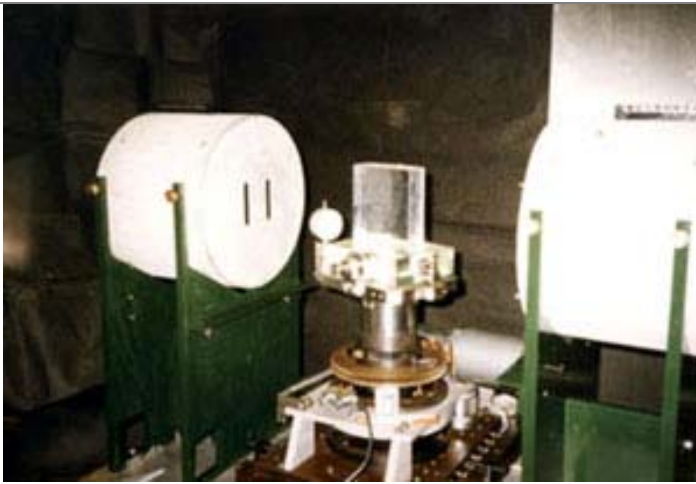
Участок γ - спектра активной зоны реактора, снятый во втором порядке отражения, как пример разрешения спектрометра.

Уникальное разрешение прибора дало возможность впервые в мире провести прямые измерения гамма-спектра активной зоны реактора и получить новые данные о гамма-распаде нуклидов деления урана из прямых измерений спектра (около ста хорошо разрешенных гамма-линий в диапазоне энергий 95 - 250 кэВ, В.Л.Алексеев, В.Л.Румянцев, 1998 г.)

Было показано (В.Л.Алексеев, В.Л.Румянцев, В.В.Федоров, 1999 г.), что кристалл-дифракционный метод изучения гамма-активности ядер-осколков деления урана (плутония) может быть использован для исследования и контроля изотопного и элементного состава в процессе выжигания ядерных отходов при решении проблемы трансмутации.

Нейтронный поляризационный дифрактометр (Установка ДЭДМ)

Ответственные физики:
с.н.с. канд. физ. -мат наук **В.В.Воронин**
с.н.с. **Е.Г.Лапин**



Установка позволяет изучать дифракцию нейтронов в толстом (1 - 10 см) кристалле на прямом продифрагировавшем пучке при углах дифракции близких к 90° и снабжена системой 3-мерного анализа поляризации нейтронного пучка.

Метод основан на предсказанном авторами эффекте деполяризации нейтронов в сильном внутрикристаллическом поле при дифракции.

- a. Впервые проведены исследования на прямом продифрагировавшем пучке нейтронов и наблюдается динамическая дифракция в толстом ($\sim 3,5$ см) кристалле при углах Брэгга, достигающих 87° .
- b. Экспериментально обнаружен предсказанный ранее эффект деполяризации нейтронного пучка при дифракции по Лауэ в нецентросимметричном кристалле альфа-кварца.

ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН

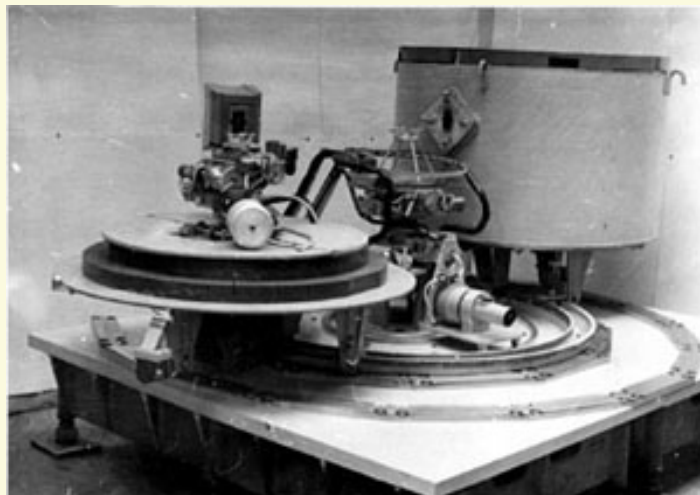
Лаборатория нейтронных исследований

Заведующий лабораторией С.Б.Вахрушев, доктор физ.-мат. Наук

Трехосный нейтронный спектрометр "Нейтрон-3" со сдвоенным монохроматором.

Спектрометр предназначен для исследования спектров решеточных возбуждений как функции Q и ω .

Основные исследования ведутся в области физики твердого тела.



Физические параметры

- монохроматоры и анализатор:

Cu 220, $2d=2.556 \text{ \AA}$;

Cu 200, $2d=3.608 \text{ \AA}$;

PG 002, $2d=6.71 \text{ \AA}$;

- поток на образце $1 \cdot 10^6 \text{ н см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$;
- длина волны падающих нейтронов $(1-4) \text{ \AA}$;
- разрешение по энергии $>0.5 \text{ мэВ}$,
- разрешение по импульсу:

паралл.: $\Delta Q=1 \cdot 10^{-2} \text{ \AA}^{-1}$;

перпен.: $\Delta Q=2 \cdot 10^{-3} \text{ \AA}^{-1}$;

- угол рассеяния монохроматора $30^\circ < 2\Theta < 120^\circ$;
- угол рассеяния образца $-130^\circ < \varphi < 130^\circ$;
- угол рассеяния анализатора $-130^\circ < 2\Theta < 130^\circ$;
- детектор: ^3He ;

размер пучка на месте образца $60 \cdot 40 \text{ мм}^2$;

Группа радиационной физики твердого тела

Заведующая группой **Р.Ф.Коноплева**, *докт. физ.-мат. наук*

Низкотемпературная гелиевая петля НГП

НГП предназначена для исследований электрических и магнитных свойств высокотемпературных сверхпроводников и других материалов в процессе облучения реакторными нейтронами при низких температурах (20-300 К). Измерительная система позволяет проводить электрическими методами измерение резистивных и магнитных свойств материалов в постоянном и переменном магнитном полях.

Физические параметры:

- Чувствительность
на постоянном токе 0.1 мкВ;
на переменном токе
по амплитуде 1 мкВ;
по фазе 0.5 град;
- Диапазон частот 20 Гц - 200 КГц;
- Напряженность магнитного поля
постоянного 0.1-200 мТл;
переменного 0.01-10 мТл;
- Точность термостатирования в заданной
точке темп. диапазона 0.1 К;
- Плотность потока нейтронов составляет
тепл.нейтр. $7 \cdot 10^{13}$ н см⁻² сек⁻¹
быстр.нейт. $1 \cdot 10^{13}$ н см⁻² сек⁻¹

Особенности прибора:

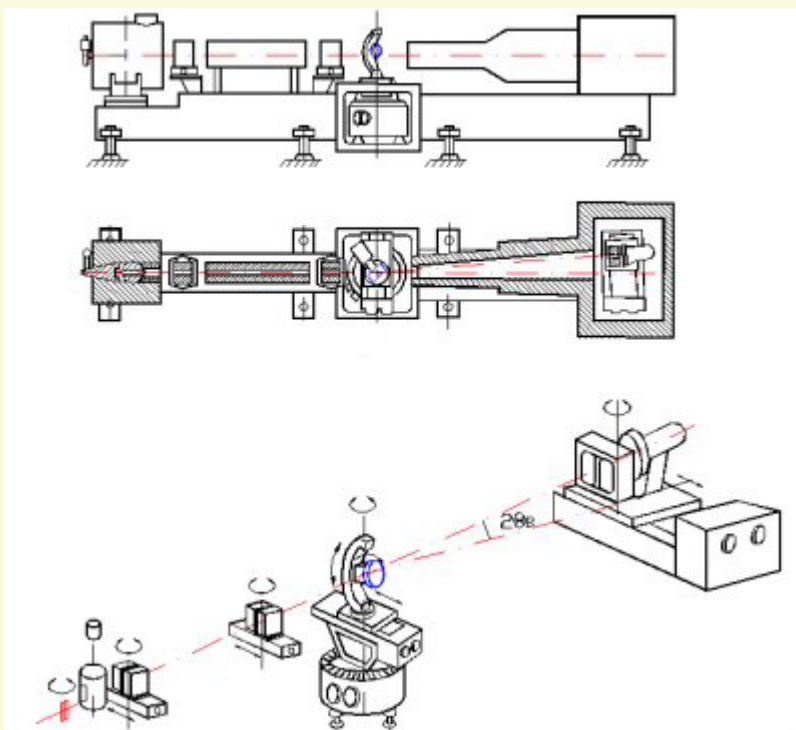
- Исследуемые образцы
загружаются во
внутренний трубопровод
низкотемпературного
канала с внутренним
диаметром 20 мм и
обдуваются потоком
газообразного гелия;
- Диапазон измерения
температуры 20 К - 400 К
и может быть увеличен
до 1000 К;

Лаборатория исследования материалов

Заведующий лабораторией **В.А.Трунов**, д.ф.-м.н., профессор

Гамма-дифрактометр

Монокристалльный дифрактометр, использующий в качестве источника высокомонохроматического гамма-излучения активированную тепловыми нейтронами золотую пластинку. Гамма-дифрактометр используется для исследования процессов дифракции излучения в реальных дефектных монокристаллах, для изучения дефектной структуры кристаллов.



Физические параметры:

- длина волны $0.03 \text{ \AA}$;
- монохроматичность пучка $\Delta\lambda/\lambda = 10^{-6}$;
- минимальный размер пучка $10 \cdot 0.5 \text{ мм}^2$;
- абсолютное угловое разрешение дифрактометра $4''$;

Особенности прибора

- Лауэ-геометрия;
- омега-сканирование с шагом $1''$;
- максимальная толщина кристалла 100 мм (Ge) ;
- длина кристаллов, доступная для исследования с одной установки 250 мм ;

Обеспечение функционирования установок реактора ВВРМ в режиме Центра коллективного пользования требует 90 млн. руб. в год.

Проект оснащения действующих реактора ВВР-М источником холодных и ультрахолодных нейтронов, а также нейтроноводным залом.

Отдел нейтронной физики (Заведующий отделом Серебров А.П., д.ф.-м.н., профессор)

В настоящее время развитие нанонауки и нанотехнологии требует совершенствования экспериментальной базы исследований с нейтронами. В связи с этим начато оснащение реактора ВВР-М в ПИЯФ РАН источником холодных и ультрахолодных нейтронов, а также нейтроноводным залом. Это позволит существенно расширить возможности для экспериментальных исследований за счет расширения спектра используемых нейтронов и обеспечения низкофоновых условий.

Наличие инфраструктуры реактора, реакторного персонала, а также физиков с исследовательскими установками позволит сделать предлагаемую модернизацию весьма эффективной и относительно недорогой. По предварительным оценкам затраты составят 200÷400 млн. руб.

Следует отметить, что проект источника ультрахолодных нейтронов на реакторе ВВР-М предполагает получить исключительно высокую плотность ультрахолодных нейтронов вплоть до $2 \cdot 10^3$ п/см³, что на два порядка величины больше, чем на реакторе ILL. Такой результат будет достигнут за счет использования уникального источника на основе сверхтекучего гелия при температуре 1.2 К. Такой источник требует специальных условий с очень низким тепловыделением. Именно такие условия можно создать в тепловой колонне реактора ВВР-М, что и открывает возможности для создания уникального источника ультрахолодных нейтронов. После создания высокоинтенсивного источника ультрахолодных нейтронов будет закреплён российский приоритет в исследованиях с ультрахолодными нейтронами, которые были начаты в России (Дубна, Гатчина, Москва) в 70^{ые} годы.



Реактор ВВР-М после реконструкции (общий план).

На реакторе ВВР-М планируется создание комплекса установок для наноструктурных исследований на источнике ультрахолодных нейтронов:

1. Установка Спин-Эхо ультра малоуглового рассеяния нейтронов SESANS
(С.В.Григорьев)

В установке используется принцип Спин-Эхо кодировки угла рассеяния, что дает возможность надежно детектировать нейтроны, рассеянные на секундные углы в пределах расходимости прямого пучка и, тем самым, получать информацию о рассеивающих неоднородностях с размерами от сотен Ангстрем до микрон, что принципиально важно для исследования материалов, физические свойства которых связаны с мезоструктурой.

2. Трехосный спектрометр на холодных нейтронах (В.П.Плахтий)

Спектрометр будет работать в комбинации со спин-эхо методикой, что даст возможность повысить энергетическое разрешение до 10 μeV в широком интервале переданных импульсов для изучения энергетической ширины линий элементарных возбуждений в широком классе объектов: наноматериалах, магнетиках, сверхпроводниках, фуллеренах и т.д.

3. Двухосный дифрактометр на холодных нейтронах (В.П.Плахтий, И.В.Голосовский, Ю.П.Черненко)

В отличие от обычно используемых дифрактометров данный прибор позволит изучать наноструктурированные материалы, синтезированные в искусственно созданных границах, так называемых условиях "ограниченной геометрии". Это могут быть соединения внутри различных пористых сред (наноккомпозиты), фазы с нанометровыми размерами, наноразмерные пленки, нанотрубки и другие объекты.

4. Установка малоуглового рассеяния поляризованных нейтронов
(В.В.Рунов)

Для исследования надатомных ядерных и магнитных структур масштаба 40-1000 Å – мезоструктуры функциональных материалов: твердотельных наноструктур, низкоразмерных систем, сплавов (в том числе, с магнитной памятью формы), кинетики фазообразования в зависимости от внешних параметров (температуры, внешнего магнитного поля).

5. Рефлектометр поляризованных нейтронов с вертикальной плоскостью отражения (рассеяния) (Г.П.Гордеев)

Предназначен для исследования наноструктуры феррожидкостей, оптимизации их агрегативной устойчивости и других свойств, необходимых для применения магнитной жидкости в медицине (направленный транспорт лекарств, герметизация повреждений внутренних органов и пр.) и технике (управляемая магнитным полем конвекция при регулировании теплообмена, смазка трущихся поверхностей, герметичные подшипники скольжения, подвижные вакуумные уплотнения и пр.).

6. ОХН-Спектрометр (В.Т. Лебедев, А.П. Серебров)

Подобных инструментов в России и за рубежом не существует. Создание Фурье-спектрометра на светосильном пучке очень холодных нейтронов (ОХН) позволит

решить фундаментальные проблемы механизмов структурных и конформационных превращений, самоорганизации, макромолекулярных химических реакций и катализа в наноразмерных системах, что отвечает потребностям развития нанохимии и физики, молекулярных технологий в области биологии и медицины, фармацевтики, микроэлектроники, нелинейной оптики и микромеханики, методов аттестации и диагностики наноструктур для водородной энергетики.

Реактор ПИК

В самом слове нанотехнология основное значение должно придаваться второй его части – технология. Переход от изучения структуры вещества к исследованию технологических процессов при его создании в режиме реального времени требует высоких нейтронных потоков. Именно это является одной из основных задач для исследователей, которые будут работать на новом высокопоточном реакторе ПИК. Согласно распоряжению правительства Российской Федерации пуск реактора будет осуществлен в 2012 г.

Реактор ПИК с самого начала задуман как высококласная установка общегосударственного масштаба, предназначенная для обеспечения исследований в интересах различных областей науки. Это легко видеть из приведенных ниже направлений научной программы, одобренной многочисленными научными отечественными и международными комитетами и совещаниями. Нужны современные источники нейтронного излучения и экспериментальные установки, работающие на выведенных пучках.

Но любая страна, претендующая на роль цивилизованной, не говоря уж о статусе "великой державы", должна понимать, что у нее нет будущего без современной науки и развитых высоких технологий. И в мире это понимают.

Только за последние 15 лет новые исследовательские реакторы, являющиеся источниками нейтронов, построены в Германии, Японии, Корее, Египте, реконструированы реакторы во Франции, США, Венгрии и Польше, строятся в Китае, Аргентине и Канаде. В России же с конца 60-х годов прошлого столетия новые исследовательские пучковые реакторы в строй не вводились, а из построенных в Советском Союзе на рубеже 50-х — 60-х годов полутора десятков среднепоточных реакторов осталось на территории РФ лишь четыре реактора средней мощности (10—15 МВт) со средним потоком, пригодным для работы на выведенных пучках. Да и те за прошедшие годы физически и морально устарели. Исключением был единственный реактор ИБР-2 в г. Дубне (ОИЯИ). Это пульсирующий реактор современного уровня, вполне соответствующий решению целого ряда задач. Но его средняя мощность всего 2 МВт, что совершенно недостаточно для широкого круга исследований, требующих высоких потоков для набора большой статистики, однако и он сейчас остановлен на реконструкцию.

Параметры реактора ПИК при полной реализации проекта не уступают (а по некоторым позициям даже превосходят) лучший исследовательский реактор HFR, работающий в Международном институте Лауэ-Ланжевена (Гренобль, Франция):

- проектная мощность — 100 МВт;
- поток тепловых нейтронов в отражателе — свыше 10^{15} н/(см² • с) (что на порядок больше, чем у ныне действующих), а в центральной водной части $\sim 4,5 \cdot 10^5$ н/(см⁵ • с) (рекордная цифра);

- 10 горизонтальных, 6 наклонных и 6 вертикальных каналов для вывода пучков и облучения образцов позволяют разместить до 50 экспериментальных установок, работающих одновременно.
- Реактор должен быть оснащен источниками горячих, холодных и ультрахолодных нейтронов относящихся к разным частям энергетического спектра.

Все это при вводе реактора в строй даст возможность не только удовлетворить потребности в нейтронах всех заинтересованных потребителей в России, но и организовать на его основе Международный центр нейтронных исследований, заинтересованность в работе на котором не раз заявляли наши зарубежные коллеги. На сегодня реактор готов на 85 %.

Стоимость приборной базы реактора ПИК составляет около 3 млрд. руб. Согласно распоряжению правительства РФ реактор будет введен в эксплуатацию в 2012 г, однако проект создания приборной базы реактора не имеет специального финансирования. Поэтому вся научная программа реактора повисает в воздухе.

НАУЧНАЯ ПРОГРАММА РЕАКТОРА ПИК

Ниже приведена сводная научная программа, составленная из предложений, поданных в разное время потенциальными пользователями реактора ПИК. Обращают на себя внимание последние разделы (7-12), составленные в большей части по предложениям последнего года и учитывающие актуальные направления физики конденсированных сред (ФКС) начала XXI века как в области фундаментальных, так и прикладных исследований в свете развития новых технологий. В детализированных пунктах программы указаны ответственные исполнители-инициаторы. В пунктах без указания конкретных исполнителей ответственным является ПИЯФ. Программа включает следующие направления:

1. Кристаллическая структура материалов.
2. Атомная динамика.
3. Магнитные явления.
4. Фазовые переходы.
5. Жидкости, аморфные вещества.
6. Физика полимеров.
7. Молекулярная биофизика.
8. Физика атомных кластеров и наноструктур (фуллеренов, нанотрубок).
9. Физика поверхности.
10. Материаловедение.
 - 10.1. Материалы общеприкладного назначения.
 - 10.2. Материалы ядерных технологий.
 - 10.2.1. Жидкометаллические теплоносители.
 - 10.2.2. Конструкционные и реакторные материалы.
 - 10.2.3. Неразрушающий контроль материалов.
11. Экология.
12. Радиационная физика.

1. КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА МАТЕРИАЛОВ

- 1.1. Исследование связи структурных особенностей различных соединений с аномалиями физических/химических свойств - ПИЯФ РАН, МГУ, ОИЯИ.
- 1.2. Исследование структуры радиоактивных и делящихся веществ, в том числе

соединений трансурановых элементов, с использованием микрообразцов - РНЦ "КИ".

1.3. Прецизионные рентгено-нейтронографические исследования распределения электронной плотности в кристаллах с различными типами химической связи - МГУ, ЛГУ, ИХС РАН. 1.4. Несоразмерные структуры - ФТИ РАН, ИФМ УНЦ УрО РАН.

1.5. Нейтронно-оптические эффекты на совершенных кристаллах (в том числе магнитных) - РНЦ "КИ".

1.6. Исследование структуры промежуточных соединений в химических реакциях, протекающих при высоких давлениях и температурах - МГУ.

1.7. Исследование структуры атомных кластеров (фуллерены, нанотрубки) - ФТИ РАН, ПИЯФ РАН.

1.8. Исследование структуры фармакологических и биоактивных соединений и её связи с их функциональными свойствами - ПИЯФ РАН, МГУ, ГА ТХТ.

2. АТОМНАЯ ДИНАМИКА

2.1. Исследование фононного спектра простых и переходных металлов и сплавов: 2.1.1. Влияние зонной структуры;

2.1.2. Влияние электрон-фононного взаимодействия на релаксацию фононов в металлах;

2.1.3. Эффекты электрон-фононного взаимодействия в сверхпроводниках (А-15, с-15) - РНЦ "КИ", ГНЦ РФ ФЭИ.

2.2. Решеточная и спиновая динамика интерметаллидов с электронным фазовым переходом с изменением валентности - РНЦ "КИ".

2.3. Возбуждения в гидридах интерметаллических соединений - РНЦ "КИ".

2.4. Процессы диффузии водорода в металлах и сплавах - РНЦ "КИ", ГНЦ РФ ФЭИ.

2.5. Коллективные возбуждения в молекулярных кристаллах - ИФТТ РАН.

2.6. Возбуждения в атомных кластерах (фуллеренах, нанотрубках) - ФТИ РАН, ПИЯФ РАН.

3. МАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

3.1. Магнитные структуры сплавов и соединений 3d-, 4f-, 5f-элементов - ИФМ УНЦ УрО РАН.

3.2. Близкий порядок и релаксационные процессы в спиновых стеклах, аморфных магнетиках - ЦНИИЧермет.

3.3. Спиновая плотность и анизотропные взаимодействия в магнитноупорядоченных кристаллах.

3.4. Неравновесные магнитные состояния в кристаллах при оптической накачке - ФТИ РАН.

3.5. Поляризация ядер в различных магнитно-кристаллических матрицах.

3.6. Состояние парамагнитных ионов в комплексах соединений - МГУ.

3.7. Коллективные магнитные возбуждения в магнитноупорядоченных кристаллах, в том числе со смешанным электронно-ядерным упорядочением - РНЦ "КИ".

3.8. Магнито-фононная гибридизация в соединениях 4f-, 5f -элементов - МГУ.

3.9. Динамика нелинейных магнитных возбуждений (солитонов, фазонов и т.д.) в низкоразмерных магнетиках.

3.10. Природа кристаллического потенциала в металлах и роль электронов проводимости в его формировании - РНЦ "КИ".

3.11. Киральные флуктуации в намагниченных образцах (исследование трехспиновых динамических корреляций, получение информации о сильно коррелированных спиновых системах - мягкие магнитные системы, магнитные флуктуации вблизи точек

неустойчивости, квантовая киральность при низких температурах) - ПИЯФ РАН.

3.12. Киральное рассеяние в системах с нецентросимметричной магнитной подсистемой, в кристаллах с взаимодействием Дзялошинского-Мория, на киральных флуктуациях в парамагнитной системе.

3.13. Изучение магнитной структуры кристаллов с нулевым вектором антиферромагнетизма в экспериментах по упругой магнитно-ядерной интерференции.

3.14. Исследование магнитоупругих взаимодействий в экспериментах по неупругой магнитно-ядерной интерференции.

4. ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ

4.1. Критическая спиновая динамика магнетиков, в том числе неупорядоченных (спиновые стекла, аморфные магнетики, инварные сплавы и т.д.).

4.2. Динамика кристаллической решетки и структурные фазовые переходы.

Несоразмерные переходы, размытые переходы, переходы в реальных кристаллах - ФТИ РАН.

4.3. Особенности фазовых переходов в интерметаллидах на основе 4f-элементов - РНЦ "КИ".

4.4. Мультикритические явления при фазовых переходах в магнитно-активных средах под действием статических и динамических воздействий, протекающие с возникновением смешанных состояний - ИФВД РАН.

5. ЖИДКОСТИ, АМОΡФНЫЕ ВЕЩЕСТВА

5.1. Структура аморфных сплавов, в том числе водородсодержащих аморфных систем - РНЦ "КИ".

5.2. Ближний порядок и атомная динамика молекулярных аморфных веществ - ИФТТ РАН.

5.3. Структура коллоидных дисперсий - ВНИИСК, ИХС РАН, ИК РАН, Ин-т нефтехим-синтеза.

5.4. Релаксационные явления в магнитных жидкостях.

5.5. Диффузионные процессы в жидких кристаллах и жидкостях - ИФТТ Венгерской АН, ГНЦ РФ ФЭИ.

5.6. Исследования динамики водных и неводных растворов с пространственной сеткой водородных связей, изучение эффектов гидратации в растворах электролитов - ГНЦ РФ ФЭИ, ИОНХ.

5.7. Изучение эффектов размерности в квантовых жидкостях, исследование поверхностных возбуждений в мультислойных пленках жидкого гелия в пористых средах - ГНЦ РФ ФЭИ.

5.8. Особенности структуры и динамики вещества в малых объемах (в т.ч. явления конфайнмента) - ФТИ РАН.

6. ФИЗИКА ПОЛИМЕРОВ

6.1. Структура аморфных полимеров в стеклообразном состоянии и влияние термомеханических полей на конформацию макромолекул в блоке - ГИПХ.

6.2. Механизм образования блок-сополимерных суперкристаллов - ИВС РАН.

6.3. Конформационные превращения синтетических полимеров в растворе - ИВС РАН.

- 6.4. Кинетика стеклования и множественные релаксационные переходы в аморфных полимерах.
- 6.5. Конформационные переходы при кристаллизации полимеров. Складчатые и линейные полимерные кристаллы.
- 6.6. Динамика макромолекул в растворах и блоке при конформационных (релаксационных) и фазовых переходах.
- 6.7. Структура комплексов полимер-блок, полимер-золь и т.д. - МГУ.
- 6.8. Структура и динамика фуллерен-полимерных комплексов и ковалентных соединений различной молекулярной архитектуры (звезды, дендримеры, сетки и т.д.) - ИВС РАН.

7. МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОФИЗИКА

- 7.1. Конформационные изменения в белках и других макромолекулах при взаимодействии с субстратами и различными биологическими эффекторами.
- 7.2. Четвертичная структура белков и нуклепротеидов - ИК РАН.
- 7.3. Структура биологических мембран - ЦИН РАН.
- 7.4. Низкочастотная динамика биологических объектов. Исследования конформационных переходов и динамического поведения макромолекул в естественных физиологических условиях - ИФТТ Венгерской АН.
- 7.5. Исследования методами малоуглового рассеяния нейтронов и нейтронного спин-эхо структуры и динамики бактериальных белков рекомбинации (RecA), ядер клеток у высших и оригинальных ферментов углеводного метаболизма, имеющих биотехнологическую значимость.
- 7.6. Исследования методом малоуглового и неупругого рассеяния нейтронов бактериальных и эукариотических ферментов рекомбинации и репарации радиационных повреждений генома.

8. ФИЗИКА АТОМНЫХ КЛАСТЕРОВ И НАНОСТРУКТУР

- 8.1. Нейтронография нанокристаллических систем - ГНЦ РФ ФЭИ.
- 8.2. Атомная структура кластеров и соединений на их основе (комплексы с переносом заряда, композиты на основе координационных и ковалентных связей).
- 8.3. Молекулярные структуры на основе кластеров (низкоразмерные-полимерные, поверхностные и трехмерные).
- 8.4. Атомная (молекулярная) динамика кластеров.

9. ФИЗИКА ПОВЕРХНОСТИ

- 9.1. Магнитная структура свободных поверхностей и границ раздела фаз.
- 9.2. Физико-химические процессы на поверхности и на границах раздела (процессы окисления-восстановления, диффузия дислокаций и дефектов, выпадение фаз и структурирование (цементирование), поведение магнитных моментов, процессы испарения и конденсации).
- 9.3. Магнитные многослойные покрытия - структура, рельеф, дефектность (незеркальное рассеяние поляризованных нейтронов).
- 9.4. Фазовые переходы в многослойных наноструктурах, явления неустойчивости

поверхности раздела (температурной, связанной с внешними полями) - ГНЦ РФ ФЭИ.

9.5. Атомная динамика на поверхности, поверхностные волны.

9.6. Моноатомные (мономолекулярные) слои на поверхности, связь явлений катализа со структурными и динамическими особенностями поверхностей.

10. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

10.1. Комплексные исследования материалов общеприкладного назначения

10.1.1. Нейтронографический фазовый анализ технических сплавов - МИФИ.

10.1.2. Исследования совершенства кристаллов для новой техники методами нейтронной дифракции и гамма-дифракции.

10.1.3. Процессы образования пористых веществ и сильнодиспергированных сред с каталитическими свойствами - ИХС РАН, ИК РАН, Ин-т нефтехимсинтеза.

10.1.4. Исследование остаточных и упругих внутренних решеточных напряжений (эффектов памяти формы, физики старения и разрушения) на атомно-структурном и микроскопическом (субатомном) уровнях, ядерного и магнитного текстурирования.

10.1.5. Изучение кристаллической и магнитной структуры и динамики решетки материалов при их внедрении в пористые среды различной топологии (пористые стекла; искусственные опалы; асбесты) и различных характерных размеров (20-1000Å).

Исследование фазовых переходов (как структурных сегнетоэлектрических и суперионных, так и магнитных) в материалах, внедренных в пористые среды (хим. катализаторы, твердые электролиты, аккумуляторы, элементы квантовой электроники) - ФТИ РАН.

10.1.6. Исследование динамики кристаллической решетки сложных смешанных кристаллов (твердые растворы замещения и соединения, в которых кристаллографически эквивалентные позиции заняты разными, неизовалентными ионами - ВТСП, материалы с гигантским магнитосопротивлением, сегнетоэлектрики-релаксоры) - ФТИ РАН.

10.1.7. Исследование связи мезоскопической структуры с электрофизическими свойствами в современных пьезоэлектрических и электрострикционных материалах и изучение процессов старения и усталости в них - ФТИ РАН.

10.1.8. Исследование кристаллических и магнитных структур, мезоструктуры и динамики материалов с уникальными свойствами (явление гигантского отрицательного магнитосопротивления, гигантской теплотворной способности и т.д.).

10.1.9. Исследование пористости материалов (цемент, угольные и нефтяные породы, абсорбция газов в керамиках и т.д.).

10.1.10. Исследование неоднородностей в сталях (Сu в сталях, азотистые стали и т.д.)

10.2. Исследования материалов ядерных технологий

10.2.1. Жидкометаллические теплоносители

10.2.1.1. Исследование микродинамических свойств металлических расплавов методом неупругого рассеяния нейтронов применительно к совершенствованию технологии жидкометаллических теплоносителей ядерных энергетических установок (ЯЭУ) - ГНЦ РФ ФЭИ, ЛНФ ОИЯИ, НИКИЭТ.

10.2.1.2. Изучение структуры жидкометаллических систем методом нейтронографии - ГНЦ РФ ФЭИ, ЛНФ ОИЯИ, НИКИЭТ.

10.2.1.3. Исследование методом молекулярной динамики бинарных металлических

расплавов в широком диапазоне температур и давлений. Систематический сравнительный анализ данных нейтронных экспериментов и численных результатов МД-моделирования для уточнения замыкающих соотношений и параметров модельных потенциалов парного взаимодействия.

Анализ моделей исследуемых систем и изучаемых процессов в рамках флуктуационной теории неоднородных расплавов с использованием методов статистического анализа данных экспериментов и расчетов - ГНЦ ФЭИ, НИКИЭТ.

10.2.2. Конструкционные и реакторные материалы

10.2.2.1. Исследование структуры и атомной динамики реакторных материалов, включая оксиды ядерного топлива, при высоких температурах (до 2500°C) для решения проблемы выбора материалов для термоядерного реактора и безопасности ЯЭУ - ГНЦ ФЭИ.

10.2.2.2. Изучение с помощью нейтронных методов многокомпонентных неупорядоченных систем, твердых растворов и сплавов, включая стали, для решения проблемы создания материалов с заданными свойствами - ГНЦ РФ ФЭИ, НИКИЭТ, ВНИИНМ.

10.2.2.3. Исследование связи структуры и атомной динамики лазерно-активных сред с диссипацией оптических возбуждений и процессами тушения лазерного эффекта для решения задачи создания эффективного лазера с ядерной накачкой - ГНЦ РФ ФЭИ.

10.2.2.4. Изучение остаточных напряжений в биметаллических соединениях на примере системы цирконий-нержавеющая сталь и оптимизация микроструктуры компонентов при использовании в атомных реакторах - НИКИЭТ, ЛНФ ОИЯИ.

10.2.2.5. Исследование азотистых и хромо-никелевых сплавов методами нейтронографии и малоуглового рассеяния поляризованных нейтронов - ВНИИНМ, ЛНФ ОИЯИ, ГНЦ РФ ФЭИ, ГНЦ РФ НИФХИ, ПИЯФ РАН.

10.2.2.6. Исследование эффектов кластеризации и фазовой сегрегации примесей в многокомпонентных и бинарных реакторных конструкционных материалах методом малоуглового рассеяния нейтронов - ЛНФ ОИЯИ, МИФИ, ИТЭФ, РНЦ "КИ", ПИЯФ РАН.

10.2.2.7. Исследование молекулярной природы и механизмов аномально сильных нелинейно-оптических свойств новых фуллерен-полимерных соединений для технологий сверхмощных лазеров и применений в области лазерного термоядерного синтеза - ПИЯФ РАН, ИВС РАН.

10.2.2.8. Экспериментальное исследование процесса разрушения конструкционных материалов методом малоуглового рассеяния нейтронов.

10.2.2.9. Микроскопические механизмы пластической деформации, разрушения реакторных материалов методами дифракции и неупругого рассеяния нейтронов на основе фокусирующей нейтронной оптики (временные и пространственные фурье-методы, микропучки).

10.2.3. Неразрушающий контроль материалов

10.2.3.1. Развитие методов прецизионного элементного и изотопного анализа промышленных, геологических и медицинских проб - ГНЦ РФ НИФХИ.

10.2.3.2. Развитие и применение нейтронных методов для неразрушающего контроля

материалов ядерных энергетических установок и конструкционных материалов в технике - ИСФТТ РНЦ "КИ", ЛНФ ОИЯИ, ИЛЛ (Гренобль), ЛЛБ (Сакле), ПИЯФ РАН.

10.2.3.3. Развитие и применение нейтронографических методов для исследования внутренних остаточных напряжений в изделиях и материалах ЯЭУ - ЛНФ ОИЯИ, НИКИЭТ, ПИЯФ РАН.

10.2.3.4. Развитие методов радиографии и томографии в быстрых нейтронах для исследования и контроля изделий ядерной техники и реакторных материалов - ФИАН, ГИРЕДМЕТ, РНЦ "КИ".

11 ЭКОЛОГИЯ

11.1. Изучение техногенного воздействия тяжелых металлов и радионуклидов на объекты окружающей среды с применением ядерно-физических аналитических методов - ГНЦ РФ НИФХИ, ЛНФ ОИЯИ, ФИБ-1.

11.2. Развитие метода нейтронного активационного анализа на реакторе для решения задач охраны окружающей среды - ЛНФ ОИЯИ, НПО "Радон", ПИЯФ РАН.

11.3. Исследования методом малоуглового и неупругого рассеяния нейтронов микрофизических свойств растворов, представляющих интерес для решения биологических проблем радиационной безопасности - ЛНФ ОИЯИ, ГНЦ РФ ФЭИ, ИОНХ РАН, ПИЯФ РАН

12 РАДИАЦИОННАЯ ФИЗИКА

12.1. Влияние радиационных дефектов на физические свойства сверхпроводящих и магнитных кристаллов - ИФМ УНЦ УрО РАН.

12.2. Исследования модификации свойств материалов в процессе облучения нейтронами реактора в низкотемпературной гелиевой петле (20-100)К.

12.3. Исследования фазовых мартенситных превращений в сплавах с эффектами памяти формы в процессе радиационного разупорядочения в низкотемпературной гелиевой петле (80 - 500)К.

12.4. Исследования механизмов образования радиационных дефектов и их связи со структурными изменениями различных материалов под действием больших доз реакторных излучений (объекты с большой наведенной активностью) методами нейтронной порошковой дифракции и малоуглового рассеяния нейтронов - ПИЯФ РАН, НПО "ПРОМЕТЕЙ".

ПРИБОРНЫЙ ПАРК РЕАКТОРА ПИК ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ФИЗИКЕ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД

Перечисленные выше направления охватывают, по существу, проблемы всех заинтересованных в использовании нейтронных методов научных коллективов России, а широкие экспериментальные возможности реактора ПИК могут обеспечить условия для их выполнения. Для выполнения этой программы разработан комплекс инструментов, которые будут размещены на пучках реактора ПИК. Все инструменты будут использоваться одновременно в режиме центра коллективного пользования.

ДИФРАКТОМЕТРИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС РЕАКТОРА ПИК

1. D1 - Порошковый нейтронный дифрактометр
2. D2 - Порошковый многодетекторный четырехсекционный дифрактометр
3. D3 - Многосчетчиковый порошковый дифрактометр
4. D4 - Порошковый Фурье-дифрактометр по времени пролета
5. D5 - Порошковый дифрактометр горячих нейтронов
6. D6 - Порошковый дифрактометр для образцов под сверхвысоким давлением

КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ ДИФРАКТОМЕТРЫ

7. D7 - Четырехкружный дифрактометр тепловых нейтронов
8. D8 - Четырехкружный дифрактометр поляризованных нейтронов
9. D9 - Четырехкружный дифрактометр горячих нейтронов
10. D10 - Монокристалльный дифрактометр с «image plate» детектором –

СПЕКТРОМЕТРЫ НЕУПРУГОГО РАССЕЯНИЯ

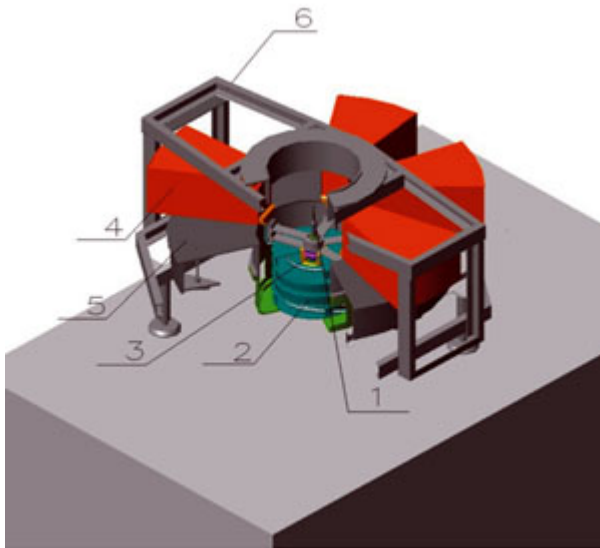
11. IN1 (СНК-3-1) - Трехосный спектрометр тепловых нейтронов
12. IN2 (СНК-3-2) - Трехосный спектрометр малоуглового рассеяния
13. IN3 (СНК-4) - Трехосный спектрометр сверхвысокого разрешения
14. IN4 «СПИН» - Трехосный спектрометр поляризованных нейтронов
15. IN5 "АНКОР" - Спектрометр обратного рассеяния
16. IN6 “Скорпион”- Корреляционный спектрометр поляризованных нейтронов
17. IN7 – Время-пролетный многороторный спектрометр

МАЛОУГЛОВЫЕ и ПРОЧИЕ ИНСТРУМЕНТЫ

18. S2 "Мембрана" - Малоугловой дифрактометр тепловых нейтронов.
19. R1 - Рефлектометр поляризованных нейтронов с вертикальной плоскостью отражения.
20. R2 - Многоволновой многомодовый рефлектометр.
21. SEM. Модифицированный спин - эхо спектрометр
22. SESANS – Дифрактометр спин-эхо ультрамалоуглового рассеяния
23. T1 - Текстуrometer с 3-х мерным анализом поляризации
24. R3 Тест-Рефлектометр (нейтронная-оптика)
25. D11 – Универсальный нейтронный дифрактометр на совершенных кристаллах
26. S1 "Тензор" - Малоугловой дифрактометр поляризованных нейтронов
27. DG1 – Гамма -дифрактометр фокусирующий
28. DG2 Гамма дифрактометр двухкристальный с рекордным разрешением
29. LHeL - Низкотемпературная гелиевая петля НГП
30. MS - Мессбауэровский спектрометр
31. РК - рентгеновский структурный комплекс, комплементарный к нейтронному оборудованию.
32. Высокоэффективный жидкостный хроматограф и хроматографические колонки для разделения металлофуллеренов и исследования взаимодействия тепловых нейтронов с нанокластерными системами
33. Бета ЯМР спектрометр на поляризованных нейтронах

СУПЕРПОЗИЦИОННЫЙ МНОГОСЕКЦИОННЫЙ ПОРОШКОВЫЙ ДИФРАКТОМЕТР ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ D1 (4 секции, 48 детекторов)

В.А.Трунов, А.И.Курбаков, А.Е.Соколов, А.П.Булкин, Я.А.Касман



Состав дифрактометра:

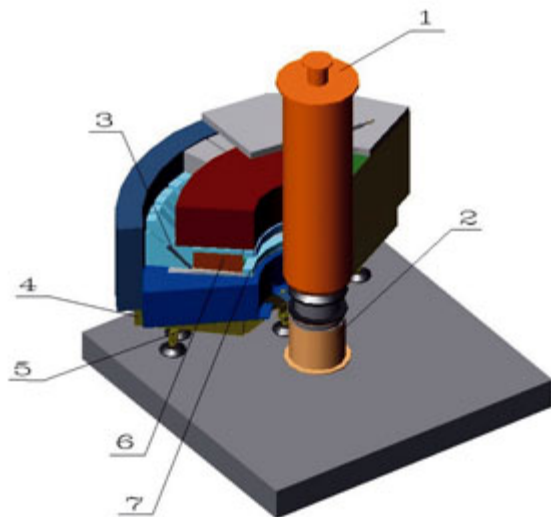
- 1 - узел образца,
- 2 - блок контроля угловых положений детекторных секций,
- 3 - соединительные тяги между детекторной секцией и угловым датчиком,
- 4 - детекторная секция с 12 детекторами,
- 5 - поверхность для перемещения детекторной секции на воздушной подушке,
- 6 - конструкция для установки на дифрактометре оборудования для задания параметров образца.

Ожидаемые параметры дифрактометра:

тип установки - порошковый дифрактометр;
основные элементы, используемые в дифрактометре - фокусирующий суперзеркальный коллиматор, фокусирующий монохроматор, монитор, входной коллиматор, собственно дифрактометр (см. рис.), защита монохроматора, защита дифрактометра, электронное оборудование;
фокусирующий нейтронотвод - входное сечение 44x150 мм, выходное сечение 25x120 мм, покрытие - $2\theta_{\text{ст}} \text{ Ni}_n$; фокусирующий монохроматор - на основе пластически деформированного Ge, отражения (115), (335), оптимальный режим (557);
угол выхода - 125° ;
длины волн - 0,94Э, 1,43Э (оптимальный режим), 1,8Å;
поток на образце $>5 \times 10^6 \text{ н/см}^2 \cdot \text{с}$ (оптимальный режим);
детекторная система - 48 ^3He детекторов, установленных в 4 секции по 12 детекторов в каждой с 10'-пленочными коллиматорами перед каждым детектором;
минимальный шаг сканирования (2θ) - $0,01^\circ$;
рабочий шаг сканирования (2θ) - $0,05^\circ$;
угловой диапазон - $5^\circ < 2\theta < 170^\circ$ ($Q_{\text{max}}=12,5\text{Å}$);
рабочий шаг сканирования (2θ) - $0,05^\circ$;
угловой диапазон - $5^\circ < 2\theta < 170^\circ$ ($Q_{\text{max}}=12,5\text{Å}$), $0,35\text{Å} < 8,75\text{Å}$ (оптимальный режим);
диапазон доступных межплоскостных расстояний - $0,5 < 2\theta \text{ Å}$, $0,7 < 16 \text{ Å}$
расчетное разрешение - $\Delta d/d \cong 1,5 \times 10^{-3}$;
сбор данных и управление - РС + электроника в VME стандарте.

2.6 МНОГОДЕТЕКТОРНЫЙ ПОРОШКОВЫЙ ДИФРАКТОМЕТР D3 (48 детекторов)

В.П.Плахтий, И.В.Голосовский, О.П.Смирнов



Предназначен для исследования кристаллической и магнитной структуры поликристаллических образцов.

Состав дифрактометра:

- 1 - криостат,
- 2 - узел контроля углового положения банка детекторов,
- 3 - детектор,
- 4 - несущая плита блока детекторов,
- 5 - воздушные подушки,
- 6 - коллиматор,
- 7 - центрирующее кольцо.

Возможные параметры дифрактометра:

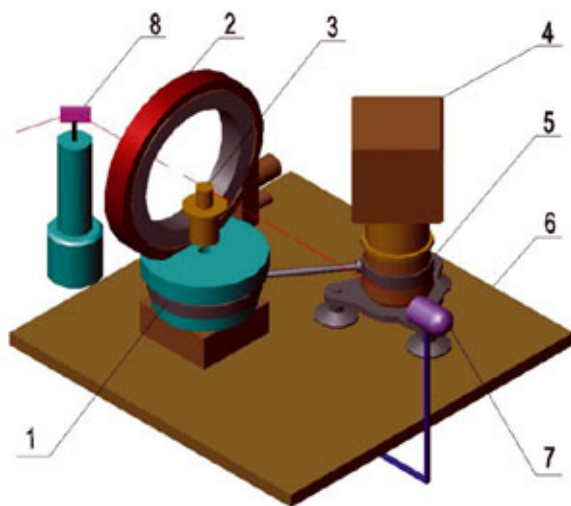
расположение - экспериментальный зал реактора ПИК, канал ГЭК № 9;
основные элементы - фокусирующий суперзеркальный коллиматор, фокусирующий монохроматор, монитор, входной коллиматор, собственно дифрактометр (см. рис.), защита монохроматора, защита дифрактометра, электронное обеспечение;
фокусирующий монохроматор - $2\theta_m = 120^\circ$, Ge - $1.35 \text{ \AA} < \lambda < 2.95 \text{ \AA}$, PG - $1.45 \text{ \AA}$, $2.90 \text{ \AA}$;
расчетное разрешение - $\Delta d/d \cong 10^{-3}$, оптимальный режим;
расчётный поток на образце -
> $2.5 \times 10^6 \text{ н/см}^2\text{с}$ - Ge,
> $4 \times 10^6 \text{ н/см}^2\text{с}$ - PG;
сечение пучка на образце - $2 \times 5 \text{ см}$; система детектирования - 48 ^3He детекторов с 48 многощелевыми пленочными коллиматорами (6'), установленными через 2° ;
интервал углов дифракции $-80 < \theta < 150^\circ$; дополнительное оборудование:
- криостат $-1,5 < T < 300 \text{ K}$,
- печь $-300 < T < 1000 \text{ K}$.

ДИФРАКТОМЕТР D5 (В.П.Плахтий, Ю.П.Черненко)

Четырехкружный нейтронный дифрактометр предназначен для проведения структурных исследований монокристаллов.

Изменение брэгговского угла монохроматора в диапазоне $45 < 2\theta < 94^\circ$ обеспечит широкий выбор экспериментальных возможностей: высокую светосилу при средней разрешающей способности дифрактометра и высокое разрешение при небольшом снижении светосилы.

В качестве монохроматоров предполагается использовать: на начальном этапе плоские кристаллы Cu(111), Ge(111) и PG(002), а в последующем с вертикальной фокусировкой Ge(111), Ge(311), Ge(511), Cu(111), Cu(220) и PG(002), что позволит проводить измерения при длинах волн $0.8 < \lambda < 3 \text{ \AA}$.



Состав дифрактометра D5:

1. Модуль образца.
2. χ -кольцо.
3. Привод ϕ -оси.
4. Детектор.
5. Транспортный модуль детектора.
6. Платформа на воздушных подушках.
7. Ловушка прямого нейтронного пучка.
8. Монохроматор.

Коллимация:

до монохроматора - естественная $< 60'$, после монохроматора - сменные коллиматоры с различной расходимостью, которые обеспечат требуемое угловое разрешение в горизонтальной ($\alpha_h \sim 0,1^\circ$) и вертикальной ($\alpha_v \sim 0,2^\circ$) плоскостях на входе детектора.

Детектор:

двумерный с газовой смесью (He+Ar) и рабочим давлением 10 ат, площадью 32x32 см и пространственной разрешающей способностью 5x5 мм.

Ожидаемый поток нейтронов на образце: не менее $10^7 \text{ н/см}^2\text{с}$

Максимальный размер пучка на образце: $\varnothing 10 \text{ мм}$.

Углы поворота осей четырехкружного дифрактометра:

$-20 < 2\theta < 140^\circ$, $-50 < \omega < 260^\circ$, $-180 < \phi < 180^\circ$, $-60 < \chi < 240^\circ$.

Компактный криорефрижератор изменяет температуру образца в диапазоне 20-300K.

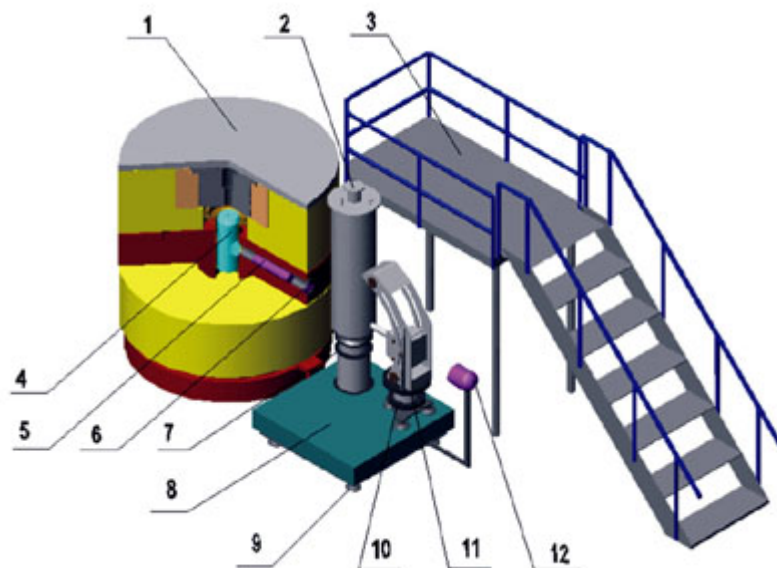
ДИФРАКТОМЕТР D6

В.П.Плахтий, Ю.П.Черненко

Дифрактометр поляризованных нейтронов предназначен для проведения измерений магнитных формфакторов, распределения плотности магнитного момента в кристаллах и т.д. или может быть использован как дифрактометр неполяризованных нейтронов для проведения структурных исследований.

Сменные монохроматоры-поляризатор $\text{CoFe}(200)$ и $\text{Cu}_2\text{MnAl}(111)$ или неполяризующие плоские монохроматоры $\text{Cu}(111)$, $\text{Ge}(111)$ и $\text{PG}(002)$ при углах дифракции $8 < 2\theta_M < 45^\circ$ позволят проводить измерения в диапазоне длин волн $0,5 < \lambda < 1,3 \text{ \AA}$.

Ожидаемый поток нейтронов на образце более $10^6 - 10^7 \text{ н/см}^2\text{с}$ в зависимости от монохроматора и длины волны.



Состав дифрактометра D 6:

1. Защита монохроматора.
2. Криостат.
3. Площадка для обслуживания установки.
4. Узел монохроматора.
5. Коллиматор.
6. Фильтр для выделения нейтронов с основной длиной волны.
7. Модуль образца.
8. Платформа на воздушных подушках.
9. Воздушные подушки.
10. Транспортный модуль детектора.
11. Детектор, перемещающийся в вертикальной плоскости.
12. Ловушка прямого нейтронного пучка.

Максимальный размер образца: $\varnothing 15 \text{ мм}$.

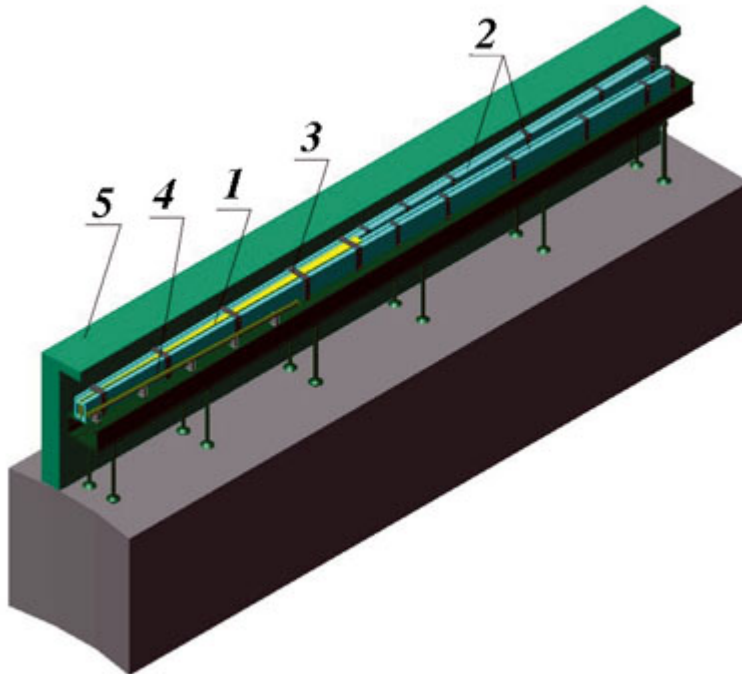
Детектор: стандартный (^3He высокого давления) может перемещаться в вертикальной плоскости в диапазоне углов $-5 < \gamma < 30^\circ$.

Криостат:

- с электромагнитом позволит проводить измерения при температурах $1,4 < T < 300 \text{ К}$ и в полях до $0,5 \text{ Т}$;
- со сверхпроводящим соленоидом - в диапазоне температур $1,4 < T < 300 \text{ К}$ и полей $0,5 < H < 8 \text{ Т}$.

КОЛЛИМАТОР ФОКУСИРУЮЩИЙ СУПЕРЗЕРКАЛЬНЫЙ CFS

В.А.Трунов, В.А.Кудряшев, А.П.Булкин



Компоненты коллиматора:

- 1 - выходная клиновидная прокладка,
- 2 - начальные секции коллиматора,
- 3 - юстировочные приспособления,
- 4 - оправа для крепления юстировочных приспособлений,
- 5 - биологическая защита.

Ожидаемые параметры:

входное сечение - 44x150 мм;
выходное сечение - 25x120 мм;
длина - 7,5 м;
количество каналов - 2;
покрытие - $\theta_{cr} = 2\theta_{cr}^{Ni}$ для Ni(n).

Спектральное распределение на выходе коллиматора приведено на графике.



ТРЕХОСНЫЙ КРИСТАЛЛИЧЕСКИЙ СПЕКТРОМЕТР ТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНОВ IN1

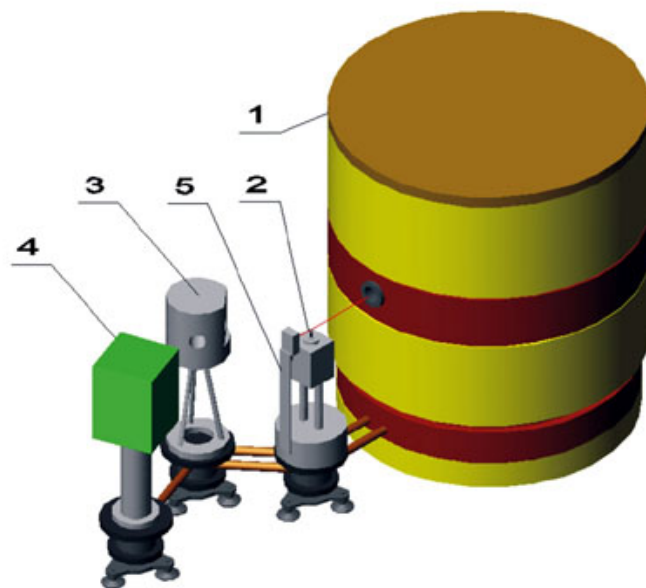
С.Б.Вахрушев, А.А.Набережнов, Н.М.Окунева (*Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе РАН*)

Расположение спектрометра:
канал реактора ПИК, ГЭК-10.

Технические характеристики трёхосного спектрометра IN1:

кристаллы-монокроматоры - плоские или фокусирующие (вертикальные и горизонтальные) Cu (220), Cu (111), PG (002), Ge (111) [пластически деформированные];
выходные углы $15 < 2\theta_M < 65^\circ$;
кристаллы-анализаторы - плоские или фокусирующие (вертикальные и горизонтальные) Cu (220), Cu (111), PG (002), Ge (111) [пластически деформированные];
выходные углы - $-130 < \theta_A < 130^\circ$; нейтронно-оптические коллиматоры 10', 20', 30', 40' и 60':

длина (м)	min	max
монокроматор- образец	1,3	2,3
образец- анализатор	1,0	2,0
анализатор-детектор	1,2	1,2
диапазон энергий нейтронов, падающих на образец		от 300 до 50 мэВ
диапазон переданных энергий		$ \hbar\omega \leq 100$ мэВ
разрешение		$0,5 \leq \Delta E/E \leq 10\%$
набор коллиматоров перед монокроматором		10', 30', 40', 60'

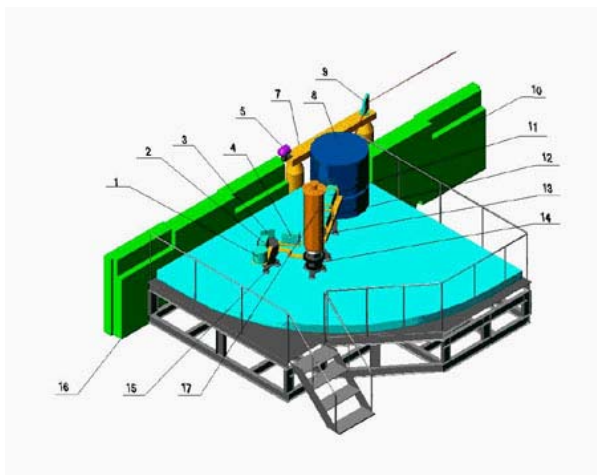


Общий вид IN1

1 - блок монокроматора;
2 - узел образца;
3 - узел анализатора;
4 - узел детектора;
5 - beam-stop.

ТРЕХОСНЫЙ СПЕКТРОМЕТР ПОЛЯРИЗОВАННЫХ НЕЙТРОНОВ "СПИН" IN3 (В.П.Плахтий, В.А.Поляков, И.А.Зобкало)

Предназначен для исследования спиновой динамики магнитноактивных соединений.
С его помощью возможно измерение не только энергии и момента рассеянных нейтронов, но также их спинового состояния.



Технические характеристики:

Состав спектрометра:

1 - детектор, 2 - коллиматор, 3 - кристалл-анализатор, 4 - анализирующий нейтроновод, 5 - ловушка прямого пучка, 7 - узел перемещения монохроматора, 8 - вращающаяся система защиты, 9 - монохроматор, 10 - стационарная защита, 11 - поляризирующий нейтроновод, 12 - флиппер, 13 - подставка, 14 - модуль угловых перемещений узла образца, 15 - модуль угловых перемещений узла детектора с анализатором. 16 - стационарная защита, 17 - криостат.

1. Система монохроматизации Фокусирующий монохроматор на кристаллах:

PG	$1,16 < \lambda < 4,7$
Cu_2MnAl	$1,19 < \lambda < 4,85$
Ge	$1,13 < \lambda < 4,6$

Размер пучка нейтронов:

$\lambda \approx 1.16$	310x50 мм;
$\lambda \approx 4.7$	310x700 мм

Угол поворота (относительно падающего пучка)

$10^\circ < \theta < 45^\circ$

Необходимое перемещение узла
монохроматора вдоль оси пучка

~2,5 м

2. Система коллимации и вращающаяся система защиты

Угол поворота (относительно падающего пучка)	$20^\circ < \theta < 90^\circ$
Размер пучка на выходе	50x30 мм

3. Узел образца:

Угол поворота модуля угловых перемещений (относительно падающего пучка)	$0^\circ < \theta < 90^\circ$
Угол поворота образца	$-180^\circ < \omega < 180^\circ$

4. Узел анализатора:

Угол поворота модуля угловых перемещений (относительно падающего пучка)	$-90^\circ < \theta < 90^\circ$
Угол поворота кристалла- анализатора	$-90^\circ < \omega < 90^\circ$

5. Детектор:

Угол поворота относительно узла анализатора	$0^\circ < \theta < 90^\circ$
---	-------------------------------

ВРЕМЯПРОЛЕТНЫЙ СПЕКТРОМЕТР НЕУПРУГОГО РАССЕЯНИЯ (МТФ, IN4)

(В.Т.Лебедев, С.М.Богданович)

Канал стационарного реактора превращен в длинноимпульсный источник путем постановки зонного прерывателя (chopper). Он формирует пучок с широкой полосой длин волн, которая затем может быть преобразована в систему узких линий для задач дифракции и неупругого рассеяния. Предложена гибкая система прерывателей (Ch), позволяющая формировать линейчатый спектр и осуществлять анализ рассеянного нейтронного пучка при исследовании структуры и динамики конденсированных сред

Преимущество зонного метода по сравнению с классическим времяпролетным (TOF) - высокая светосила, на порядок и более превышающая таковую для монолиний. Это позволяет создать эффективный прибор, позволяющий изучать методами нейтронного рассеяния широкий круг проблем атомной и молекулярной динамики полимеров и жидкостей, биологических макромолекул, молекулярных кристаллов, атомных кластеров и фуллеренов, наноструктур и аморфных твердых тел. Предполагается кооперация с нейтронными центрами Будапешта (Институт физики твердого тела) и Берлина (Институт Хана-Мейтнер) в целях использования спектрометра для молекулярных технологий (фармацевтика, сенсоры на основе ион-селективных мембран, катализаторы), материаловедения (водород в металлах, динамика дефектов при диагностике старения и разрушения реакторных материалов), определения взаимосвязи динамических микропараметров и функциональных свойств объектов.

В этих задачах наиболее важно изучение динамики перечисленных систем в области малых переданных энергий $\omega = 0,1-10$ мэВ и импульсов $q = (0,01-1)\text{\AA}^{-1}$.

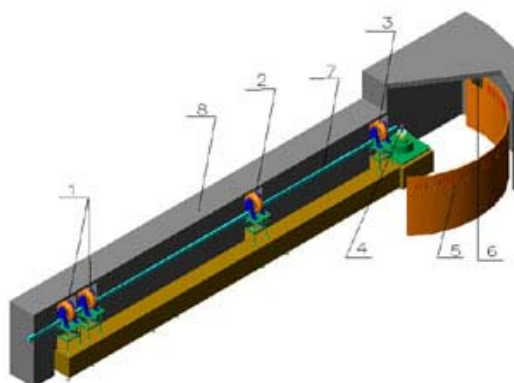


Рис. 1. Состав спектрометра

- 1 - двоянный прерыватель Ch1-2 для формирования импульсов и прерыватель Ch3, задающий частоту их повторения,
- 2 - зонный прерыватель Ch4,
- 3 - прерыватель Ch5 для задания разрешения,
- 4 - стол образца,
- 5 - банк детекторов (300 отдельных детекторов),
- 6 - позиционно-чувствительный детектор,
- 7 - секция нейтронотода,
- 8 - блоки биологической защиты.

Размер образца максимальный	50x100 мм
Длина монохроматора	15,27 м
Частота вращения прерывателей	2000-12000 об./мин.
Диапазон длин волн	$5 \leq \lambda \leq 20 \text{ \AA}$
Разрешение по энергии	$30 < \Delta E < 2000 \text{ мкэВ}$
Поток на образце при $\lambda=6 \text{ \AA}$ и характерном разрешении $\Delta E=200 \text{ мкэВ}$	$1 \cdot 10^5 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$
Угловой диапазон линейного детектора	$8 \leq \theta \leq 148^\circ$
Диапазон мультidetектора	$0,1 \leq \theta \leq 7,5^\circ$
База образец-детектор	3,61 м

МАЛОУГЛОВОЙ ДИФРАКТОМЕТР ПОЛЯРИЗОВАННЫХ НЕЙТРОНОВ "ВЕКТОР-20" (В.В.Рунов, А.И.Окороков, Г.П.Копица, С.В.Григорьев)

Малоугловой дифрактометр "Вектор-20". Установка оборудована 20-ти канальным анализатором поляризации рассеянных нейтронов при полной апертуре в горизонтальной плоскости $5,5^\circ$ и возможностью поворота детекторной части установки до 30° в одну сторону.

Пучок формируется зеркальным фильтром, поляризуется при отражении от малогабаритной сборки пластин Si с напыленным Fe/Al-суперзеркалом. Монохроматизация производится пространственным спиновым резонатором, имеется возможность плавно изменять длину волны нейтронов от 7 до 12 Å и ширину спектральной линии от 10 до 30%. На установке реализован метод векторного анализа поляризации нейтронов, рассеянных на образце в условиях нулевого магнитного поля. Метод позволяет отделять магнитное рассеяние от ядерного и разделять магнитное рассеяние на упругую и неупругую составляющие. Этим методом впервые была обнаружена анизотропия деполяризации нейтронов в магнитно-изотропном образце, позволившая в дальнейшем развить метод исследования магнитной текстуры. Метод позволяет изучать неупругое магнитное рассеяние без примеси других процессов. Получаемые результаты в ряде случаев оказываются более информативными, чем прямые спектроскопические измерения. При изучении спиновых волн в ферромагнетиках удастся с большой точностью определить их параметры, включая дипольную константу.

При исследовании аморфных сплавов с фазой возвратного спинового стекла удастся четко определить вклад термодинамических и конфигурационных флуктуаций. Успешное выделение некогерентного вклада при рассеянии поляризованных нейтронов на водородсодержащих материалах было продемонстрировано при исследовании надмолекулярной структуры аморфных полимеров.

В последние годы при использовании комбинации методов рассеяния, деполяризации и ларморовской прецессии изучено распределение температуры Кюри и поведение спиновых волн в инварном сплаве.

Расчетные технические характеристики:

Длина волны - 7 - 12 Å,

Область переданных импульсов - $5 \times 10^{-3} \leq \theta \leq 10^{-1} \text{ Å}^{-1}$.

Сечение пучка на образце - 8x40 мм.

Нейтронный поток на образце - $2 \times 10^5 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ для $\lambda = 8 \text{ Å}$ и $\Delta\lambda/\lambda = 25\%$.

Поляризация пучка - $P \geq 97\%$.

Экспериментальные возможности:

- векторный анализ поляризации рассеянных нейтронов,
- термостатирование в диапазоне 10 - 1000K,
- магнитные поля до 5 кЭ.

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ГЕЛИЕВАЯ ПЕТЛЯ НА ВЫСОКОПОТОЧНОМ РЕАКТОРЕ "ПИК" (Р.Ф. Коноплева, С.П.Беляев, В.А.Чеканов, И.В.Назаркин)

Низкотемпературная гелиевая петля (НГП) предназначена для изучения квазистационарных неупорядоченных состояний и различных переходных процессов в твердых телах, возникающих в процессе облучения. Использование "замороженного состояния" диффузионных процессов при низких температурах и контролируемого температурного сканирования позволяет:

- получить различную степень неупорядоченного состояния;
- изучать различные типы дефектов и процессы дефектообразования в кристаллах;
- исследовать влияние нейтронного облучения на низкотемпературные процессы и фазовые переходы;
- изучать низкотемпературную радиационную стойкость материалов для атомных реакторов и реакторов термоядерного синтеза.

В состав НГП входят следующие системы:

1. Низкотемпературный канал (НК) с криопроводами подачи и возврата криоагента (гелия). В низкотемпературном канале размещается измерительное - нагружающее устройство или измерительная сборка с исследуемыми образцами.
2. Шлюзовая камера - криостат для перегрузки образцов.
3. Вакуумная система для создания и поддержания вакуума в низкотемпературном канале и криопроводах.
4. Криогенная установка, обеспечивающая поддержание температур в канале в диапазоне 20-300 К.
5. Система поддержания температур в НК в диапазоне от 300 К до 1000 К, включающая в себя нагреватель и холодильник.
6. Измерительная установка и автоматическая система управления.
7. Компрессор.

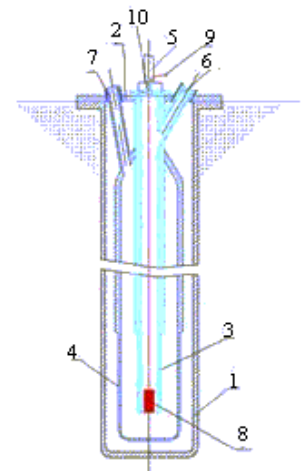
ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ НГП (при мощности реактора 100 МВт)

1. Радиационные:

плотность потока быстрых нейтронов ($E > 1 \text{ МэВ}$) $1 \times 10^{13} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$;
плотность потока тепловых нейтронов не менее $7 \times 10^{13} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$;
удельное тепловыделение - 2 Вт/г;
общее тепловыделение в канале - 2 кВт.

2. Температурные:

криоагент - газообразный гелий;
хладопроизводительность - $\sim 2000 \text{ Вт}$ (при температуре 20 К);
диапазон рабочих температур - 20-1000 К;
максимальный перепад температур гелия на входе и выходе - $< 20 \text{ К}$;
перегрев образца относительно криоагента - $< 5 \text{ К}$;
точность поддержания температуры - $\pm 1 \text{ К}$
обеспечение возможности изменения температуры (термоциклирования) с задаваемой скоростью



Разрез низкотемпературного канала

1 - корпус канала НЭК-5, 2 - фланец,
3,4 - внутренний и наружный
трубопроводы гелиевой петли, 5 -
вакуумопровод,
6,7 - криопроводы подачи гелия,
8 - измерительная сборка, 9 - кабель,
10 - электрический разъем.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ РАССЕЯНИЯ НЕЙТРОНОВ В МОЛЕКУЛЯРНО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Д.М.Байтин, В.В.Исаев-Иванов, В.А.Ланцов, Д.В.Лебедев, В.Т.Лебедев, К.Н.Неустроев,
М.В.Филатов, А.И.Куклин¹, А.Х.Исламов¹

¹ Лаборатория нейтронной физики ОИЯИ, Дубна

В ряду физических методов, позволяющих получать комплексную информацию о молекулярной структуре и молекулярной динамике сложных молекулярно-биологических систем в нативных условиях, методы нейтронной физики, такие как малоугловое рассеяние нейтронов, нейтронное спин-эхо и времяпролетная спектроскопия, получили на Западе в последние годы достаточно широкое распространение, и их применение ограничивается, в основном, доступностью источников нейтронов с высоким потоком.

Возможности контрастирования объектов, с одной стороны, и получения прямых экспериментальных данных о динамике исследуемых молекулярно-биологических объектов в их различном функциональном состоянии, с другой стороны, позволяют связать получаемые методами нейтронной физики экспериментальные результаты с современными теоретическими подходами (такими, например, как коллективное координатное пространство) при молекулярно-динамическом компьютерном моделировании изучаемых биологических объектов.

В последнее время в Отделении молекулярной и радиационной биофизики (ОМРБ) ПИЯФ стали проводиться исследования с применением нейтронов, которые можно разделить на три части по тем научным задачам, которые в них ставятся и решаются. Это исследования **белка RecA, ядер клеток высших и гликопротеинов**.

Белок RecA играет ключевую роль в таких фундаментальных биологических феноменах как рекомбинация, репарация и радиорезистентность и является тем связующим звеном, которое позволяет рассматривать эти явления в совокупности как клеточный механизм, обеспечивающий баланс стабильности и изменчивости генетической информации.

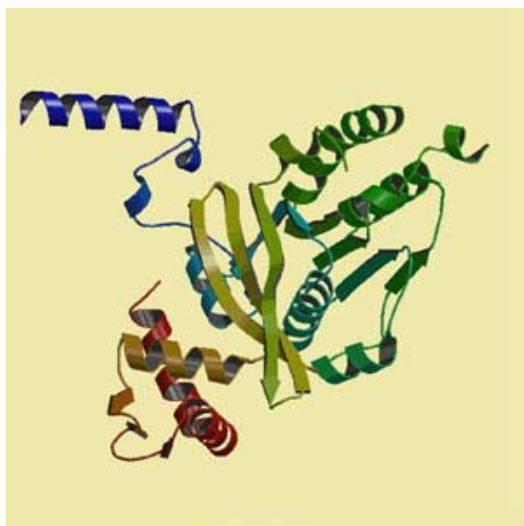


Рис1. Мономер RecA белка из *Escherichia Coli*
(структура воспроизведена на основе protein bank ID 2reb с использованием пакета Molscript)

НЕЙТРОННЫЙ РЕФЛЕКТОМЕТР С ТРЕХМЕРНЫМ АНАЛИЗОМ ПОЛЯРИЗАЦИИ (R2)

Н.К.Плешанов, В.М.Пусенков, В.Г.Сыромятников, В.А.Ульянов, А.Ф.Щебетов

На приборе будут исследоваться физические свойства многослойных магнитных наноструктур, процессы окисления и взаимной диффузии, а также шероховатости и другие несовершенства структуры, их влияние на магнитные свойства. Измерения зеркального и незеркального рассеяния нейтронов с анализом поляризации позволят получать детальную информацию о связи магнитного состояния пленок с особенностями их структуры. Нейтронная рефлектометрия с трехмерным анализом поляризации даст уникальную возможность измерять как модули элементов матрицы отражения, так и разности их фаз. Фазовые данные позволят не только получать более полную информацию о структурных особенностях и магнитном состоянии слоев, но и решать задачу инверсии нейтронных данных для восстановления профилей намагниченности, в том числе у магнитно-неколинеарных структур.

Место: нейтронно-провод холодных нейтронов.

Режимы:

- времяпролетный,
- с постоянной длиной волны.

Диапазон длин волн: 3-15 Å.

Поляризация пучка в максимуме спектра: 98%.

Ведущее поле: вертикальное.

Детектор: позиционно-чувствительный.

Диапазон углов: 0-3°.

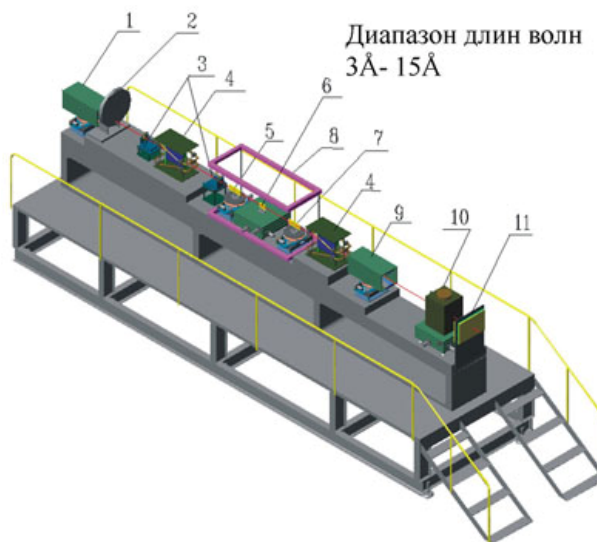
Диапазон длин волн для времяпролетного режима: 3-15 Å.

Угловое разрешение: 0,01°.

Разрешение по длине волны: 0,04 Å.

Разрешение по переданному импульсу: $dq/q \approx 1\%$.

Плоскость рассеяния: горизонтальная.



1. Формирователь пучка.

2. Прерыватель пучка.

3. Диафрагмы для формирования пучка нейтронов перед образцом.

4. Спин-флиппер.

5. Ремагнитный поляризатор.

6. Узел образца.

7. Ремагнитный анализатор.

8. Магнитная система узла образца

9. Анализатор поляризации пучка после образца.

10. Позиционно-чувствительный детектор.

11. Ловушка.

НЕЙТРОННЫЙ РЕФЛЕКТОМЕТР ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ ЗЕРКАЛ (R3)

**А.Ф.Щебетов, С.В.Метелев, Н.К.Плешанов, В.М.Пусенков, В.Г.Сыромятников,
В.А.Ульянов**

Место: нейтроновод (пучок) тепловых нейтронов.

Назначение: измерение нейтронно-оптических параметров суперзеркал. Целью этих измерений являются:

- оптимизация технологических факторов, определяющих качество суперзеркал;
- отбраковка поляризующих и неполяризующих суперзеркал, изготовленных для нейтроноводов.

Режимы

- времяпролетный,
- с постоянной длиной волны.

Диапазон длин волн: 1-6 Å.

Плоскость рассеяния - горизонтальная. Поляризация пучка после зеркального поляризатора в максимуме спектра: 98%. Ведущее поле: вертикальное.

Детектор: счетчик ^3He (СНМ-17).

Диапазон углов: 0-1°.

Диапазон длин волн для времяпролетного режима: 1-6 Å.

Угловое разрешение: 0,01°.

Разрешение по длине волны: 0,04 Å.

Разрешение по переданному импульсу: $\Delta q/q \approx 2\%$.

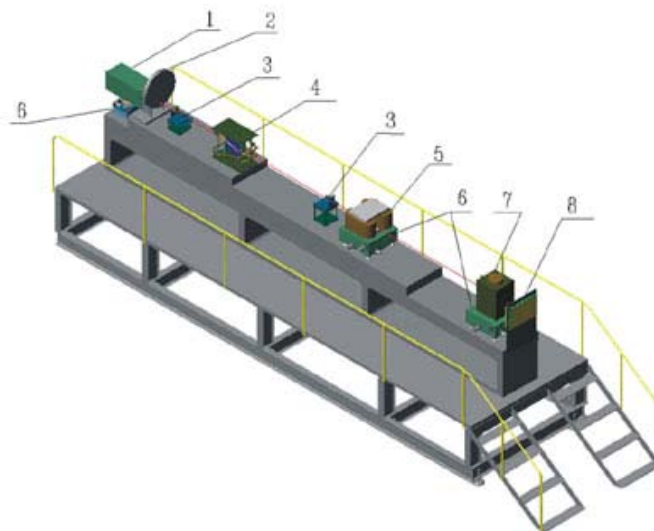


Рис. Тестовый рефлектометр на тепловых нейтронах

1. Формирователь пучка.	5. Узел образца с электромагнитом.
2. Прерыватель пучка.	6. Юстировочные столы с программно- управляемым электромеханическим приводом.
3. Диафрагмы для формирования пучка нейтронов перед образцом.	7. Позиционно-чувствительный детектор.
4. Спин-флиппер.	8. Ловушка

РЕНТГЕНОВСКАЯ И ГАММА-СПЕКТРОСКОПИЯ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ НА ВЫСОКОПОТОЧНОМ РЕАКТОРЕ ПИК

В.В.Федоров, В.В.Воронин, Е.Г.Лапин, С.Ю.Семенихин, В.Л.Румянцев, Е.П.Григорьев ¹,
А.М.Суховой ²

¹ Санкт-Петербургский государственный университет

² Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

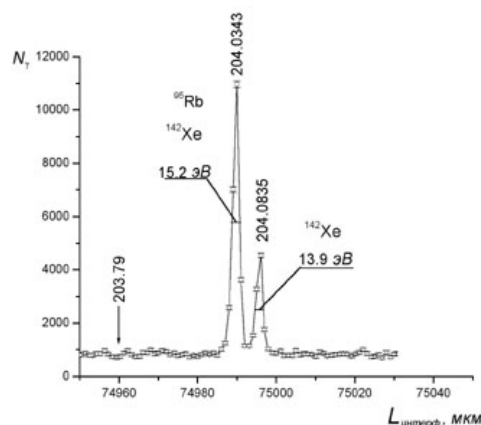
Дифракционные спектрометры позволяют проводить измерения с высокой относительной точностью ≈ 1 ppm (10^{-6}) и обладают уникально высоким энергетическим разрешением, достигающим $\approx 10^{-5}$ от измеряемой энергии (при энергиях излучения $E_x \leq 100$ кэВ они обеспечивают относительную точность в 3-10 раз лучше и энергетическое разрешение на несколько порядков более высокое, чем любые другие приборы). Однако, высокое разрешение дифракционных спектрометров приводит к весьма малой, 10^{-9} - 10^{-10} , светосиле (эффективности), и для реализации их метрологических возможностей необходимо, чтобы исследуемое излучение было достаточно интенсивным.

Существует два варианта спектрометров: фокусирующий и прибор с двумя плоскими кристаллами. Большинство исследований выполнено на фокусирующих дифракционных спектрометрах в геометрии "на прохождение", когда отражающие плоскости рабочего монокристалла перпендикулярны его поверхности и исследуемое γ - или X-излучение при дифракции проходит через кристалл. Поглощение излучения в кристалле (кварц, кремний) ограничивает измерения на спектрометрах такого типа диапазоном энергий $E_x \geq 20$ кэВ. При меньших энергиях необходимо применять спектрометры "на отражение", когда отражающие плоскости кристалла параллельны его поверхности и излучение дифрагирует в тонком поверхностном слое. С точки зрения достижения максимально высокой точности и предельного для дифракционных приборов энергетического разрешения в области малых энергий ($E \leq 20$ кэВ) предпочтительнее спектрометр с двумя плоскими кристаллами. На реакторе ПИК планируется разместить оба типа спектрометров.

1.Фокусирующий кристалл-дифракционный спектрометр ГСК-2М (GSK-2M), работающий в настоящее время на пучке реактора ВВР-М, или его аналог.

2. Двухкристальный дифракционный спектрометр МАДИС (MADIS), созданный в ПИЯФ в рамках сотрудничества ПИЯФ-ИЯИ, или его аналог.

Спектрометр был сконструирован и построен О.И.Сумбаевым и А.И.Смирновым в 1961 году и установлен на горизонтальном канале реактора ВВР-М вскоре после его пуска. После нескольких модернизаций ГСК-2М имеет рекордное разрешение и не имеет себе равных в мире среди фокусирующих спектрометров.



На рисунке приведен участок γ -спектра из активной зоны реактора, снятый во втором порядке отражения как пример, демонстрирующий разрешения спектрометра. Уникальное разрешение прибора дало возможность впервые в мире провести прямые измерения γ -спектра активной зоны реактора и получить новые данные о γ -распаде нуклидов деления урана (около ста разрешенных γ -линий в диапазоне 95 - 250 кэВ)

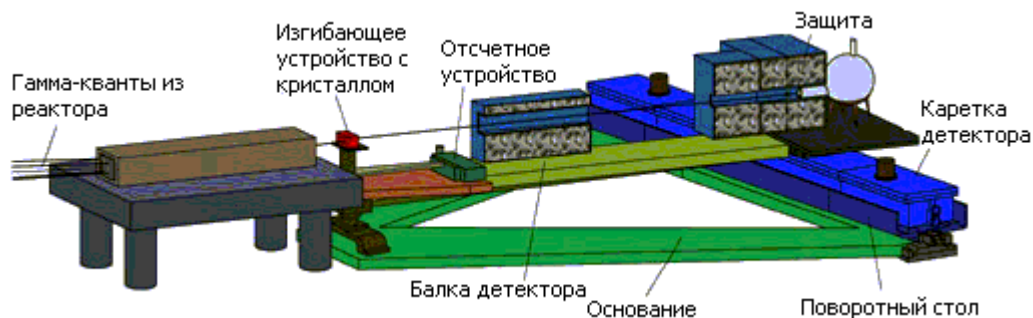
Показано, что кристалл-дифракционный метод применим также для исследования и контроля изотопного и элементного состава в процессе выжигания ядерных отходов при решении проблемы трансмутации.

ХАРАКТЕРИСТИКИ КРИСТАЛЛ-ДИФРАКЦИОННОГО СПЕКТРОМЕТРА ГСК-2М

Тип:	геометрия Кошуа.
Фокусное расстояние:	4,12 м.
Кристалл:	изогнутый кристалл кварца, плоскости (110). Специальный вырез, для которого отсутствует упругая квазимозаичность и другие типы деформации, приводящие к отклонению равновесной формы изгибаемой пластины от цилиндрической.
Детектор:	Ge(Li) γ -спектрометр, 96 см ³ .
Рабочий диапазон:	40 - 1000 кэВ (возможно 20 - 1200 кэВ).
Энергетическое разрешение:	ΔE_γ (кэВ) = $8 \times 10^{-7} \frac{E_\gamma^2}{n}$ (кэВ) ($E_\gamma < 300$ кэВ), где n - порядок отражения (n=1-5), т.е. если $E_\gamma = 100$ кэВ, то $\Delta E_\gamma = 8/n$ эВ.
Система отсчета углов:	интерферометр на высокочастотных голографических решетках (патент ПИЯФ). Чрезвычайно малая длина оптического пути (0,05 - 0,1 мм) обеспечивает высокую стабильность по отношению к вибрациям, изменению температуры, влажности и давления воздуха в экспериментальном зале реактора.
Угловая чувствительность:	0,005".
Точность измерения энергии:	до 2×10^{-6} (1/25 - 1/5 FWHM).
Светосила:	$I_{\min}^\gamma$ вплоть до $4 \cdot 10^{-5}$ γ /нейтрон.
Режим измерения:	накопление информации одновременно в пяти порядках отражения на каждой угловой позиции спектрометра.

Использование (n,n' γ)-реакций позволяет получать большие скорости отдачи ядра и при этом наблюдать не только доплеровское уширение, но и смещение линии при наблюдении под разными углами по отношению к направлению падающих нейтронов.

Общий вид спектрометра ГСК-2М показан на рис.



Общий вид спектрометра ГСК-2М

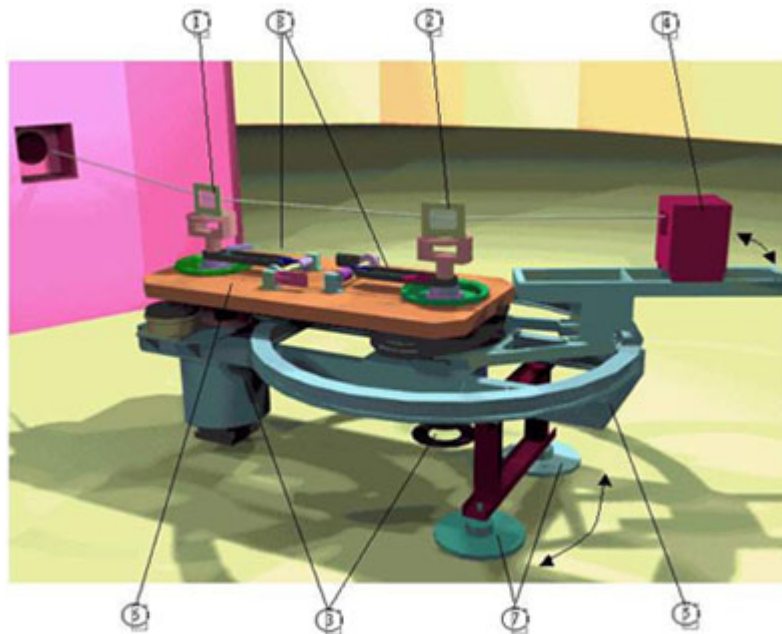
Двухкристальный дифракционный спектрометр

В настоящее время в ПИЯФ создан двухкристальный дифракционный спектрометр для измерений рентгеновских и γ -линий с относительной точностью $(1-3) \times 10^{-6}$ и энергетическим разрешением до 10^{-5} . Основными преимуществами такого прибора являются следующие:

- двухкристальный спектрометр является универсальным прибором, позволяющим проводить измерения энергии излучений от ≈ 3 кэВ до ≈ 20 кэВ в геометрии "на отражение" и от ≈ 20 кэВ и выше - в геометрии "на прохождение", при этом переход от одной схемы к другой осуществляется простой заменой рабочих кристаллов и не требует изменений в конструкции установки;
- отсутствуют апертурные aberrации;
- нет дополнительного уширения дифракционного профиля, связанного с изгибом кристалла, что позволяет достигнуть разрешения, определяемого только свойствами рабочего кристалла.

Дифракционный спектрометр позволяет проводить измерения энергий рентгеновского и γ -излучения вплоть до $E_x \approx 3$ кэВ (угол Брэгга, $\theta_x \approx 60^\circ$). Измерения углов поворота каждого из кристаллов производятся с помощью лазерных гониометров. Дискрет измерения угла $\approx 0,03''$, диапазон измеряемых углов от 0° до 360° .

Общий вид спектрометра МАДИС показан на рис.



Общий вид установки.

1,2 - рабочие кристаллы; 3 - лазерные гониометры; 4 - детектор; 5 - несущая рама; 6 - плита; 7 - воздушные подушки; 8 - синусные механизмы

НЕЙТРОННЫЙ МЕХАНИЧЕСКИЙ МНОГОРОТОРНЫЙ МОНОХРОМАТОР

Ю.Г.Абов¹, С.М.Калевин¹, Д.В.Николаев, Г.А.Петров, В.А.Петрова, В.Е.Соколов

¹⁾ *Институт теоретической и экспериментальной физики, г. Москва*

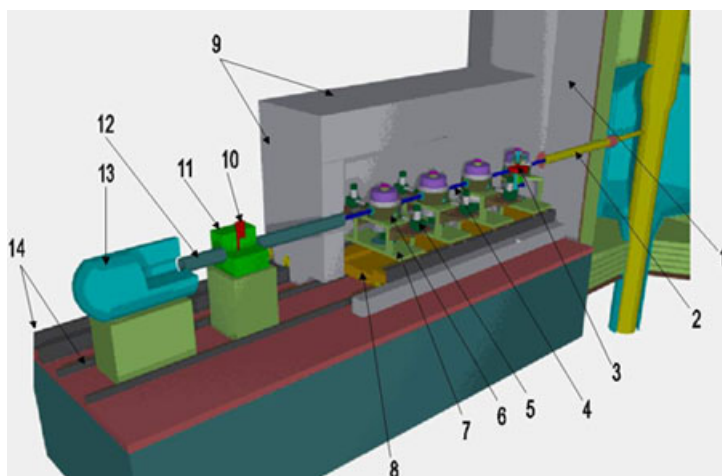
Нейтронный механический многороторный монохроматор представляет собою экспериментальную установку для получения интенсивных импульсных пучков медленных нейтронов в выделенных узких интервалах их энергий. Установка расположена на нейтронном пучке ГЭК-1 реактора ПИК и предназначена для исследований в области физики деления и для решения других фундаментальных и в различных областях физики конденсированного состояния.

Наиболее общепринятыми методами получения таких нейтронных пучков являются импульсные источники на базе сильноточных линейных электронных ускорителей типа ORELA (Ок-Ридж, США), циклических протонных ускорителей типа LANSCE (Лос-Аламос, США) и импульсных ядерных реакторов типа ИРЕН (проект ОИЯИ, Россия). Однако, для решения целого ряда экспериментальных задач нередко требуются интенсивные пучки монохроматических нейтронов в интервалах энергий порядка ширины нейтронных резонансов. Именно в таких случаях механические монохроматоры имеют определенные преимущества.

УСТРОЙСТВО УСТАНОВКИ И ЕЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Механический монохроматор нейтронов служит для выделения механическим путем узкого участка из широкого спектра нейтронов. Монохроматор состоит из 4-х однотипных модулей, которые будут размещены вдоль коллимированного пучка нейтронов канала ГЭК-1. Каждый модуль представляет собой заключенный в вакуумный кожух и вертикально подвешенный в магнитном поле массивный (≈ 30 кг) ротор диаметром 30 см, изготовленный из прочного стального сплава. При подаче тока в электромагнит ротор подвешивается и затем приводится во вращение со скоростями вплоть до 18000 об./мин. Заданное положение ротора может поддерживаться с точностью $3 \cdot 10^{-3}$ мм по высоте подвеса и $5 \cdot 10^{-3}$ мм в горизонтальной плоскости, синхронный период вращения - с точностью $\pm 2 \cdot 10^{-6}$ с, а заданная фаза вращения роторов - с точностью $\pm 0,02^\circ$ при скорости 10000 об./мин.

Энергетическое разрешение прибора зависит от скорости вращения роторов и энергии пропускаемых нейтронов. В частности, при скорости 15000 об./мин и энергии нейтронов, равной $E \approx 1$ эВ, на которую настроен монохроматор, $\Delta E/E \approx 0,05$.



Нейтронный механический многороторный монохроматор
1-стена реактора ПИК,
2-канал ГЭК-1,
3-ротор,
4-коллиматор,
5-оптический датчик,
6- вакуумная камера,
7-опорная станина роторной установки,
8-откатная платформа,
9-разборные блоки бетонной защиты,
10-нейтронный детектор,
11- защитный домик,
12-нейтропровод,
13-нейтронная ловушка,
14-рельсы.

ПОЛЯРИЗУЮЩИЙ НЕЙТРОНОВОД КАНАЛА ГЭК-4'

А.П.Серебров, А.Ф.Щебетов, В.М.Пусенков

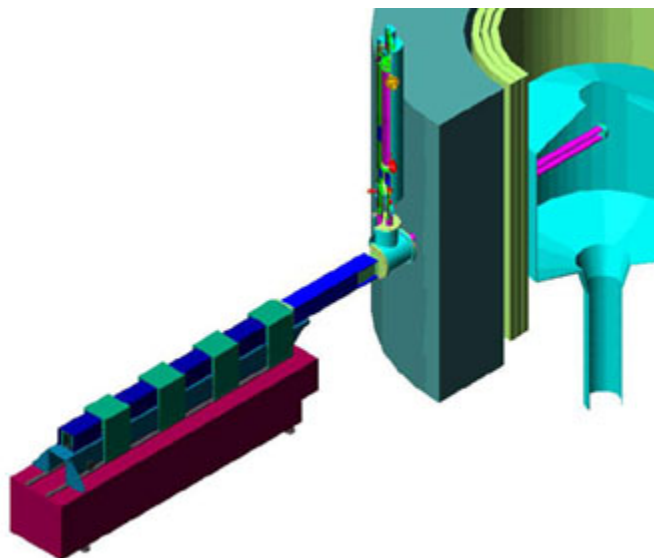
Источником холодных нейтронов является жидководородный модератор, размещенный в центральной части горизонтального канала 4-4', проходящего в тяжеловодном отражателе вблизи активной зоны реактора. Технологические коммуникации от теплообменника и рефрижератора, обеспечивающие работу холодного источника, проложены со стороны канала 4', оставляя для нейтронов свободную область канала сечением 80х150 мм.

На выходе канала после узла поворота криопроводов установлен многощелевой изогнутый полярирующий нейтронотвод, выводящий холодные поляризованные нейтроны из прямого пучка (см. рис.). Полная длина нейтронотвода 5,6 м. Поглощающий подслон стенок нейтронотвода и его защита обеспечивают эффективное поглощение тепловых нейтронов и γ -излучения прямого пучка. Намагничивание поляризующих зеркал и проводка нейтронной поляризации вдоль нейтронотвода осуществляется постоянными магнитами.

Последняя секция нейтронотвода совмещена с устройством для реверса нейтронной поляризации - радиочастотным адиабатическим флиппером. Необходимая конфигурация магнитных полей флиппера создается катушками с током.

Имеющийся опыт создания и эксплуатации жидководородного источника холодных нейтронов реактора ВВР-М ПИЯФ РАН показывает, что на выходе поляризующего нейтронотвода при мощности реактора 100 МВт можно ожидать плотность потока холодных нейтронов $\approx 1 \times 10^{10} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, что при сечении нейтронотвода 150х80 мм соответствует полному потоку $1,2 \times 10^{12} \text{ с}^{-1}$.

Приведенные цифры соответствуют захватному потоку, эквивалентному потоку тепловых нейтронов. Средняя по спектру длина волны нейтронов $\lambda \approx 4 \text{ \AA}$.



ПРОГРАММА ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА И ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

К.А.Коноплев, В.А.Назаренко

1. Изучение механизма изменения свойств материалов под действием облучения

Такие исследования выполняются, как правило, с разрушением облученных образцов (например, для электронной микроскопии) или на образцах в виде тонких игл и пленок, т.е. в виде, далеком от реальных объемных образцов. Хорошо развитая в ПИЯФ техника малоуглового рассеяния нейтронов позволяет исследовать достаточно большие образцы без разрушения и во всем объеме. Возможная область наблюдения за микроскопическими образованиями внутри материала начинается от $10 \text{ \AA}$ и перекрывает диапазон, интересный для анализа моделей набухания и изменения механических свойств (единицы - десятки микрон). При этом появляется возможность объемного описания процессов выделения фаз различной дисперсности, приводящих к изменению механических свойств конструкционных материалов, применяемых для корпусов и внутрикорпусных конструкций реакторов. Становится возможным наблюдение процесса сегрегации примесей фосфора, серы, меди и других элементов на границах зерен и процесса образования пар типа фосфор-никель, фосфор-хром и тому подобных, а также образования газовых пор. Естественно, что использование методики малоуглового рассеяния должно сочетаться с другими традиционными методами, тем более что само малоугловое рассеяние не дает информации о составе микрофазы. Преимущества малоуглового рассеяния заключаются в уже упомянутой возможности получения объемной картины и в большой статистике наблюдения. Кроме того, возможно повторное облучение образцов с последующим повторным исследованием их на приборе малоуглового рассеяния. Важным для исследования моделей поведения материала под облучением является также то обстоятельство, что малоугловое рассеяние дает не только размер микровключений и среднее расстояние между ними, но позволяет также судить об их форме и фрактальности поверхности.

Использование этой методики для топливных композиций, используемых в твэлах, особенно дисперсионного типа, явится важным инструментом в разработке новых композиций и развитии понимания поведения материалов под облучением.

В настоящее время на Западе уже есть первые попытки исследования конструкционных материалов на приборах малоуглового рассеяния. Эти приборы требуют высокой плотности тепловых, а также холодных нейтронов в выведенном пучке. Реактор ПИК спроектирован именно для такого рода исследований.

В ПИЯФ создана установка малоуглового рассеяния на реакторе ВВР-М. Первые прикидочные измерения на очень слабом нейтронном пучке $10^3 \text{ н/см}^2\text{с}$ на этой установке показали возможность подобных исследований. На реакторе ПИК плотность потока на входе в подобные приборы будет как минимум на три порядка выше.

2. Исследование микромеханизма кинетики разрушения и формирования предразрывного состояния металла

Современная физика рассматривает разрушение твердых тел под нагрузкой как процесс, приводящий к разрыву (макrorазрушению) тела. Начало этого процесса связано с зарождением первичных субмикроскопических трещин, кинетика дальнейшего развития которых, слияние и дальнейший рост магистральных трещин и определяют наступление разрушения. Известно, что зарождение и развитие субмикроскопических и микроскопических трещин зависит и от важных внешних факторов: величины и характера нагрузки, температуры, радиационного воздействия, от микроструктуры рассматриваемых материалов.

Информация о кинетике развития разрушения на микроуровне ведет к возможности прогнозирования работоспособности материала (и всей конструкции), оценки остаточного ресурса прочности и т.д. Таким образом, получение прямой и детальной информации о зарождении и развитии субмикротрещин является важной и необходимой задачей в разработке проблем надежности и эффективного использования конструкционных материалов.

Для регистрации и прослеживания развития субмикротрещин в металлах метод малоуглового рассеяния нейтронов является весьма эффективным, поскольку позволяет регистрировать трещины, поры и сегрегированные фазы микропримесей с размерами от $\sim 10 \text{ \AA}$ до микрометров. Отмеченные выше характеристики реактора ПИК по плотности потока холодных нейтронов создают благоприятные возможности успешного развития исследований механизма кинетики разрушения и формирования предразрывного состояния металла с помощью малоуглового рассеяния.

Наряду с методами малоуглового рассеяния будут проводиться на спин-эхо спектрометре исследования динамической функции рассеяния в широком диапазоне времени атомных и молекулярных движений ($10^{-12} - 10^{-8} \text{ с}$). В разработке физики процессов разрушения материалов реакторной техники важным является изучение объектов, подвергнутых одновременному воздействию нагрузки и радиации (известно, что эти факторы действуют неаддитивно). Подобные исследования могут выполняться совместно ПИЯФ (малоугловые измерения) и НИИАР (подготовка образцов, подвергнутых комбинированному одновременному воздействию нагрузки и облучения).

Успешное развитие данного направления должно дать возможность экспериментального наблюдения процессов зарождения и развития начальных, субмикроскопических трещин и пор как в объеме тела, так и в области вершины растущих магистральных трещин. Это ведет к обеспечению серьезного продвижения в надежности определения сроков службы металлов как в ядерной энергетике, так и во многих других областях техники.

3. Трансмутация долгоживущих продуктов отработавшего ядерного топлива

Высокий нейтронный поток реактора ПИК представляет благоприятные возможности для проведения экспериментов по разработке методики трансмутации долгоживущих продуктов деления в ходе замкнутого цикла.

В первую очередь предполагается проведение исследований двойного ядерного топливного цикла.

Методы выделения долгоживущих продуктов в Радиовом институте им.Хлопина в значительной степени разработаны. Методы подготовки выделенных продуктов для облучения (введение в матрицы, удобные для облучения) разрабатываются.

Радиохимический и спектрометрический анализ предполагается выполнять существующими в ПИЯФ и Радиовом институте им. Хлопина методами.

Рассматриваются возможности наблюдения динамики трансмутации методом кристалл-дифракционной спектрометрии, который кратко представлен в описании следующего предлагаемого направления.

Наблюдение динамики трансмутации может сыграть существенную роль в оценке допустимости тех или иных примесей, поведения промежуточных продуктов и оптимизации цикла облучения. Реактор ПИК дает уникальную возможность разработки методов трансмутации нептуния - ^{237}Np путем последовательного захвата им двух нейтронов и последующего деления.

4. Динамика накопления осколочных продуктов и продуктов трансмутации делящихся материалов.

В ПИЯФ хорошо развита методика прецизионного измерения γ -спектров на кристалл-дифракционном фокусирующем γ -спектрометре. Этот прибор позволяет проводить прямые измерения γ -спектра твэлов или делящихся мишеней непосредственно из активной зоны или в процессе деления мишени. Метод универсален по массам ядер, не имеет ограничений по времени жизни нуклидов и может быть использован для исследования и контроля изотопного состава топлива в процессе выгорания. Возможно применение метода и для контроля процесса трансмутации, о чем упоминалось в предыдущем направлении 3.

Метод позволяет получить информацию с несравненно большей статистикой, чем при анализе извлекаемых образцов. Он позволяет измерить концентрации короткоживущих ядер.

Кристалл-дифракционный фокусирующий прибор установлен на действующем в ПИЯФ реакторе ВВР-М. На основе уже выполненных первых измерений вносятся исправления и уточнения в широко используемую ядерную базу данных Брукхейвенской Национальной лаборатории США. Это первые в мире измерения такого рода.

Метод прямого измерения γ -спектров отдельных мишеней и активной зоны с целью определения и контроля элементного и изотопного состава на кристалл-дифракционном фокусирующем спектрометре может иметь и другие важные применения на реакторе ПИК.

5. Малоактивируемые стали для АЭС

Разработка малоактивируемых сталей для атомной энергетики представляется весьма заманчивым направлением работ. Естественно, такая разработка должна проводиться и проводится в специализированных материаловедческих организациях, а на реакторе ПИК в рамках такой программы можно и целесообразно провести исследования фононных спектров и межатомных потенциалов для намеченных к использованию материалов.

Для широкого развёртывания работ с использованием экспериментального оборудования реактора ПИК, установки и отладки этого оборудования на реакторе ПИК необходимо следующее финансирование в период 2008 – 2011 гг.

Завершение инженерного обеспечения комплекса нейтроноводного зала реактора ПИК и его нейтроноводной системы - 350 млн.руб.,

в том числе:

холодный источник для нейтроноводной системы с криогенной машиной и компрессором - 250 млн.руб.,
модернизация (с использованием суперзеркал), установка и настройка нейтроноводной системы - 100 млн.руб.;

Завершение создания комплекса приборов для исследования материалов и технологий их производства, их установка на горизонтальных пучках реактора ПИК и настройка в измерительные режимы - 272 млн.руб.

в том числе:

два трехосных спектрометра, (один, совместно с ФТИ, на тепловых, второй, совместно с КИ, на поляризованных нейтронах) - 24 млн.руб.,
три порошковых дифрактометра – (один на тепловых нейтронах, второй на поляризованных нейтронах, третий, совместно с ОИЯИ и КИ, для исследования вещества при сверхвысоких давлениях) - 21 млн.руб.,
три монокристалльных дифрактометра, (один, совместно с ИТЭФ и МИФИ, супермалоуглового рассеяния в секундном диапазоне углов, для исследования мезоскопической структуры вещества, два для прецизионных исследований структур монокристаллов из материалов с различными функциональными свойствами) - 19 млн.руб.;

система формирования нейтронных пучков 9 канала (дифрактометрический комплекс реактора ПИК)	- 8 млн.руб.;
создание позиционно-чувствительных детекторов (совместно с ОИЯИ)	- 24 млн. руб.;
рентгеновский структурный комплекс, комплементарный к нейтронному оборудованию	- 161 млн.руб.
два кристалл-дифракционных гамма-спектрометра (фокусирующий и двухкристальный) с рекордным разрешением	- 15 млн.руб.;

Комплекс оборудования наклонных каналов - 52 млн.руб.,

в том числе:

низкотемпературная петля для исследования материалов	- 22 млн.руб.;
монокристалльный дифрактометр с «image plate» детектором	- 15млн.руб.
гамма-дифрактометр для исследования совершенства кристаллов и разработки эффективных монохроматоров	- 15 млн.руб.

Инженерное дооборудование залов горизонтальных и наклонных каналов (фальшполы, биологическая защита пучкового оборудования, сервисное экспериментальное оборудование, первичные внутришиберные формирователи нейтронных пучков) - 250 млн.руб.

Проектирование и создание исследовательского нейтронного оборудования для нейтроноводного зала, его размещение, отладка - 348 млн.руб.,

в том числе:

малоугловой дифрактометр «Мембрана»	- 19 млн.руб.;
малоугловой спектрометр на поляризованных нейтронах «Тензор»	- 21 млн.руб.;
рефлектометр с горизонтальной плоскостью рассеяния	- 16 млн.руб.;
модуляционный спин-эхо спектрометр	- 34 млн.руб.;
тестовый рефлектометр	- 14 млн.руб.;
инженерный Фурье дифрактометр	- 21 млн.руб.;
трехосный кристаллический спектрометр для малых передач энергии	- 18 млн.руб.;
корреляционный дифрактометр для изучения спиновых корреляций	- 14 млн.руб.;
двухосный спектрометр на поляризованных нейтронах	- 16 млн.руб.;
70-детекторный порошковый дифрактометр высокого разрешения	- 14 млн.руб.;
двухосный спектрометр для испытаний нейтронных монохроматоров	- 11 млн.руб.;
создание биологической защиты экспериментального оборудования	- 70 млн.руб.;
создание системы вакуумной откачки нейтроноводов	- 12 млн.руб.;
создание термостабилизированных боксов для размещения электронного оборудования в нейтроноводном зале	- 20 млн.руб.;
создание централизованной инженерной инфраструктуры для обслуживания экспериментального оборудования	- 48 млн.руб.

Создание комплекса для производства поляризованного гелия-3 для медицинских целей и поляризации нейтронных пучков - 100 млн.руб.

Создание напылительной техники для производства современных суперзеркальных отражающих покрытий, включая поляризующие, для эффективных нейтронных

компонентов и приборов. Приобретение современного технологического оборудования для обработки и изготовления оптических компонентов формирователей нейтронных пучков (установка гидроабразивной резки и многофункциональный обрабатывающий центр) - 96 млн.руб.

Приобретение и создание оборудования для задания и измерения параметров исследуемых материалов: (криохолодильники замкнутого цикла на уровень температур $\sim 3^\circ\text{K}$, нагревательные печи до температур свыше 2400°K , деформационные машины, сверхпроводящие магниты на уровень полей свыше 12 Тесла, квантовый магнитометр, калориметр для измерения теплоемкости, термогравитометр, печи для отжига с изменяемой проточной газовой атмосферой до температур $\sim 2800^\circ\text{K}$, оптические приборы для настройки и отладки экспериментального оборудования) - 95 млн.руб

Приобретение современного сервисного вакуумного оборудования для технического обслуживания пучковых экспериментов - 46 млн.руб.

Создание комплекса лучевых методов лечения онкологических заболеваний, включая современный центр диагностики заболеваний, оценки эффективности лечения и необходимости медикаментозного (дополнительного) лечения - 350 млн.руб.

Приобретение ростового оборудования для выращивания монокристаллов германия и кремния - германия для создания эффективных нейтронных монохроматоров, кремния для нейтронного легирования и создания (в водородной энергетике) систем преобразования электрической энергии, вырабатываемой водородными ячейками, в промышленный стандарт - 105 млн.руб.

Создание комплекса оборудования нейтронного легирования кремния (диаметром до 190 мм) - 320 млн.руб.

Высокоэффективный жидкостный хроматограф и хроматографические колонки для разделения металлофуллеренов и исследования взаимодействия тепловых нейтронов с нанокластерными системами - 17 млн.руб.

Создание центра информационного и технологического обеспечения нейтронных исследований - 250 млн.руб.

Полный объем затрат на разработку и создание приборной базы реактора ПИК для исследований в области физики конденсированного состояния вещества, включая исследования современных материалов с функциональными физико-химическими и конструкционными свойствами оценивается в - 2651 млн.руб.,

Ускорительный комплекс ПИЯФ РАН

Синхроциклотрон на энергию протонов 1000 МэВ ПИЯФ РАН является уникальной многопрофильной научно-исследовательской установкой, эксплуатируемой в режиме центра коллективного пользования. На пучках ускорительного комплекса проводится широкий круг фундаментальных и прикладных научных исследований, относящихся к трем приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники в Российской Федерации: живые системы, индустрия наносистем и материалов, а также энергетики и энергосбережение.

Синхроциклотрон ПИЯФ РАН является в своем классе самым крупным синхроциклотроном мира. Балансовая стоимость оборудования синхроциклотрона, включая объекты недвижимости, составляет около 500 млн. руб. В настоящее время синхроциклотрон ПИЯФ является единственным в России действующим ускорителем средних энергий.

На базе синхроциклотрона создано несколько уникальных по своим параметрам установок:

- специализированный протонный тракт для исследования радиационной стойкости изделий микро и наноэлектроники, используемых в космической и авиационной технике.
- комплекс протонной терапии, на котором проводится лечение ряда заболеваний головного мозга, таких как аденомы гипофиза и артериовенозные морфомации сосудов головного мозга,
- мюонный тракт, создающий пучки мюонов, которые используются для исследования магнитных свойств наноматериалов с помощью так называемого μ SR-метода,
- магнитный спектрометр ИРИС, работающий в линию с протонным пучком синхроциклотрона, на котором проводится широко- масштабные исследования короткоживущих ядер, далеких от полосы β -стабильности ядер,
- нейтронный спектрометр по времени пролет ГНЕЙС, с уникальной временной структурой, которая позволяет исследовать в широких пределах энергетическую зависимость сечений взаимодействия нейтронов с ядрами
- малые ускорители: нейтронный генератор, обеспечивающий пучки нейтронов с энергией 14 МэВ и электростатический ускоритель ЭСУ-2 на энергию 1,8 МэВ.

Исследование структуры вещества на ускорительном комплексе ПИЯФ РАН.

μ SR-спектроскопия в ПИЯФ РАН

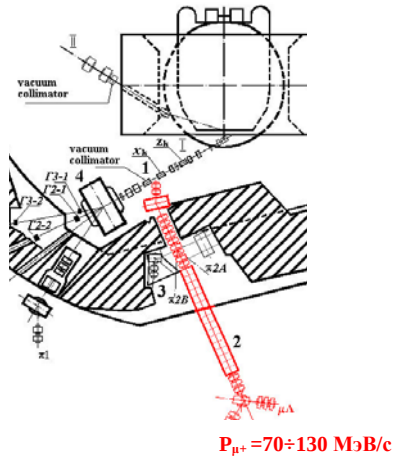
Лаборатория мезонной физики конденсированных сред (

В.П. Контев, канд. физ.-мат. наук, снс.

Мюон в веществе – это своеобразный магнитный зонд, позволяющий исследовать внутренние локальные магнитные поля и распределение этих полей. В экспериментах измеряют частоту прецессии спинов мюона F_{μ} или мюония F_{Mu} и скорости их деполяризации λ . Эти параметры содержат богатую информацию о широком спектре физико-химических свойств материала на нанометровом уровне.

В настоящее время в России существует единственная работающая μ SR-установка на мюонном канале синхроциклотрона ПИЯФ РАН.

μ -канал сепарированных продольно-поляризованных мюонов



μ SR-установка



Физические параметры μ -канала (а):

- интенсивность $\leq 10^5 \text{ с}^{-1}$;
- $P_{\mu^+} = 70 \div 130 \text{ МэВ/с}$;
- продольная поляризация мюонов 95%;
- примесь пионов и позитронов в пучке не более 3%;
- максимальный размер пучка $\varnothing 40 \text{ мм}$;
- размер исследуемых образцов $\varnothing 20 \div 50 \text{ мм}$ с толщиной по пучку $4 \div 10 \text{ г/см}^2$.

Особенности μ SR-установки:

- угловой захват e^+ от распада мюонов: $\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu$, остановившихся в мишени 0,5 стерadian;
- температурный диапазон $4,2 \div 300 \text{ К}$;
- возможность работы в поперечных магнитных полях до 1,5 кЭ;
- анализируемый временной интервал с момента остановки мюона $10 \text{ нс} \div 10 \text{ мкс}$ с точностью 0,8 нс.

На данной установке ведутся следующие физические исследования:

1. Магнетизм в материалах с памятью формы.
2. Сплавы со случайным конкурирующим взаимодействием (совместно с МИСиС, Москва и ИФМ УрО РАН, Екатеринбург).
3. Взаимодействие ферроэлектричества и ферромагнетизма (совместно с МИСиС, Москва и ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург).
4. Исследование наноструктурных материалов:
 - а). μ SR-исследования феррожидкости, (совместно с ОИЯИ, Дубна);
 - б). исследование нанодiamondов (размер гранул $\sim 500 \text{ нм}$, 25 нм и $4 \div 6 \text{ нм}$) (совместно с ФГУП «Центральный НИИ материалов, Санкт-Петербург).

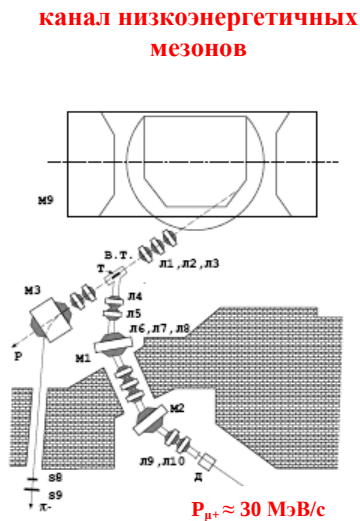
μ SR-установка находится в постоянной готовности к работе, что обеспечивает режим коллективного пользования. Имеются программы обработки экспериментальных данных.

Обеспечение эффективного функционирования комплекса: μ -канала и μ SR-

установки в режиме Центра коллективного пользования требует финансирования ~5 млн. руб. в год.

Следует отметить, что все работы ведутся на мюонном канале и на установке ведутся уже около 25 лет. Для повышения эффективности μ SR-исследований необходима его модернизация.

Общие затраты на модернизацию существующего комплекса: μ -канал и μ SR-установка составляют ~2,5 млн. руб.



В ПИЯФ существует принципиальная возможность создания пучка «поверхностных» мюонов на существующем канале низкоэнергетических мезонов. Ранее этот канал использовался для исследования сечения рождения низкоэнергетических π -мезонов и прецизионного измерения времени жизни пионов и каонов. В процессе этих исследований была показана принципиальная возможность получения на этом канале достаточно интенсивного пучка мюонов с уровнем продольной поляризации порядка 100% и интенсивностью $2 \cdot 10^4$ 1/с. **Использование «поверхностных» мюонов с импульсом ~30 МэВ/с позволит существенно расширить область μ SR-исследований и обеспечить работу с монокристаллами и тонкими**

пленками.

Затраты на модернизацию этого канала ~10 млн. руб.

Таким образом, суммарные затраты на поддержание работоспособности существующего комплекса: μ -канал и μ SR-установка составляют 5 млн. руб. в год, и его общую модернизацию 12,5 млн. руб.

Испытания радиационной стойкости электронной компонентной базы.

Бурное развитие космических технологий ставит вопрос о создании радиационно-стойкой элементной базы современной электронной аппаратуры, способной длительное время надежно функционировать в радиационных полях космического пространства. Особенно острой эта проблема становится при создании функционально сложной вычислительной аппаратуры, состоящей из большого числа полупроводниковых элементов и интегральных схем, в которых за счет объемных и локальных ионизационных эффектов могут возникать сбои и нарушения функционирования. В связи с этим большое значение приобретает испытания радиационной стойкости электронной компонентной базы.

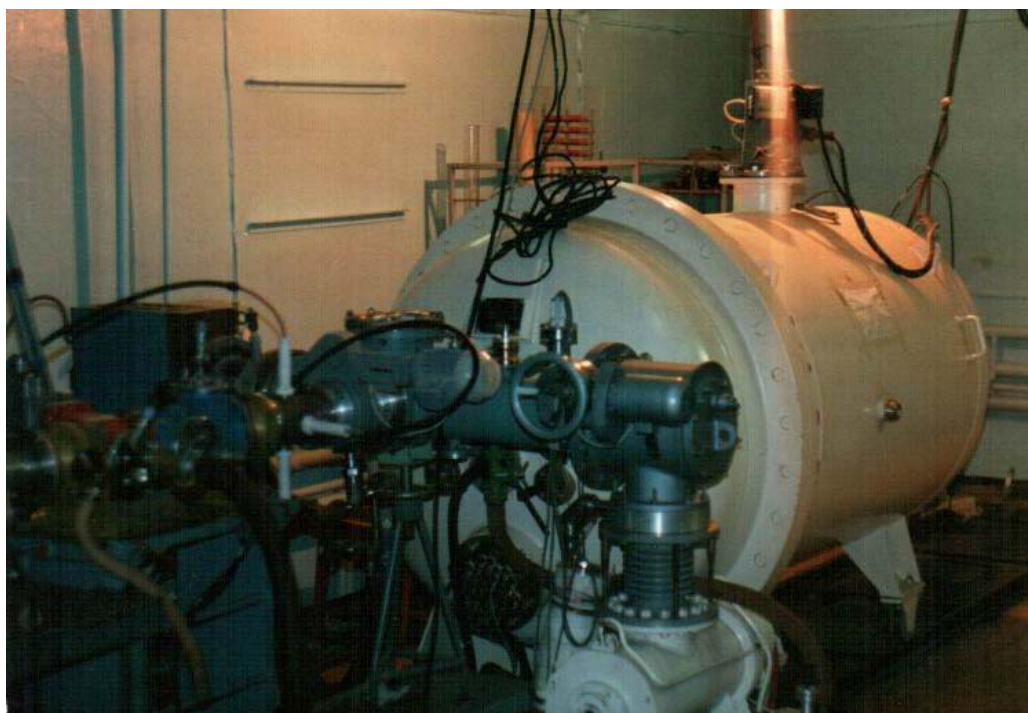
На протонном пучке синхроциклотрона ПИЯФ РАН с фиксированной энергией протонов 1000 МэВ уже много лет проводятся радиационные испытания выпускаемых Российской промышленностью изделий электронной техники. В этом направлении ПИЯФ РАН активно сотрудничает с ФГУП НИИ «Электронстандарт», ФГУП Научно-исследовательский институт приборов (Лыткарино), ОАО Специализированные электронные системы СПЭЛС (МИФИ) и др.

АНАЛИТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ НАНОСТРУКТУРЫ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДАМИ ЯДЕРНОГО МИКРОАНАЛИЗА НА ПУЧКАХ ИОНОВ

Канд. физ-мат. наук, снс Лебедев Виктор Михайлович

Методы ядерного микроанализа, основанные на процессах взаимодействия ионов с энергиями от 0,5 до 3,5 МэВ с атомами и ядрами, являются в настоящее время важным средством решения задач аналитики и создания материалов, в том числе наноматериалов, с необходимыми поверхностными и объемными свойствами. Эти методы включают в себя:

- спектроскопию обратного резерфордовского рассеяния;
- спектроскопию ядерных реакций;
- ионный рентгеноспектральный анализ.



Электростатический ускоритель ЭСУ-2.

На аналитическом комплексе, имеющемся на электростатическом ускорителе института, проводятся исследовательские и прикладные работы по изучению структуры и свойств различных материалов на наномасштабах, разработке новых приборов и технологий, в том числе и нанотехнологий. Они включают синтез и изучение новых веществ, разработку материалов и наноматериалов с заданными свойствами и

функциями (полимеров и полимерных материалов, композитов, сплавов, керамик, продуктов биологического и медицинского назначения, оптических, сверхпроводящих, магнитных материалов и особо чистых веществ, фуллеренсодержащих материалов, нанокластеров).

Параметры аналитического комплекса для исследования материалов.

Ускоряемые частицы	Протоны, дейтроны, электроны
Энергия частиц	(0.3 – 1.6) МэВ
Разрешение по энергии $\Delta E/E$	10^{-4}
Интенсивность ионного пучка на исследуемом образце	(1-10 ⁴) нА
Диаметр ионного пучка на мишени	(1 – 8) мм
Точность измерения интенсивности пучка на мишени	(1 – 3) %

Аналитические характеристики методов ядерного микроанализа.

Метод анализа	Определяемые элементы	Глубина исследуемого слоя, мкм	Чувствительность метода, (%)	Точность метода, (%)	Разрешение по глубине при исследовании глубинных профилей, (нм)
Резерфордское обратное рассеяние	Li - U	1 – 10	1 –10-3	1 - 2	~ 20
Метод ядерных реакций	Z < 16	1 – 10	10-1 - 10-6	1 - 3	< 10
Ионный рентгеноспектральный анализ	Na – U	1 – 10	10-3 – 10-4	~3	-

Методы ядерного микроанализа позволяют решать следующие задачи

Качественный и количественный анализ состава и наноструктуры образцов многокомпонентных материалов,

- Количественное определение следов элементов в образцах,
- Количественное определение толщины пленок для одно- и многослойных многокомпонентных пленочных структур и покрытий,
- Построение количественных концентрационных профилей основных и примесных элементов по глубине для пленочных и объемных образцов,
- Количественная характеристика переходных областей пленка-подложка и пленка-атмосфера для изучения взаимодействия пленки с подложкой и окружающей средой.

Отделение молекулярной и радиационной биофизики (ОМРБ) ПИЯФ РАН и исследования в области «Живых систем» и «Нанодиагностики»

Отделение ведет исследования таких фундаментальных механизмов стабильности генома, как репликация, рекомбинация и репарация. Эти исследования проводятся на молекулярно-генетическом, биохимическом и клеточном уровне, в том числе и на клетках высших. В своей деятельности ОМРБ взаимодействует с широким кругом медицинских учреждений Санкт-Петербурга, включая учреждения онкологического профиля.

Доступность в настоящее время последовательностей всего генома и наступление эпохи технологий транскриптомики/ протеомики/ метаболомики/ гликомики привели к возможности определения системных сетевых связей между генами и ферментами внутри клетки. Системный подход может быть реализован при непосредственном изучении мультимолекулярных систем клетки, много более простых, чем клетка в целом, но образующих относительно автономные функциональные единицы. Это, как правило, сопряжено с необходимостью изучения мультимолекулярных комплексов размером десятки и сотни нанометров, то, что сегодня принято называть **НАНОБИОСТРУКТУРАМИ**.

Методический арсенал, который при этих исследованиях используется коллективами лабораторий и сотрудничающих с ОМРБ учреждений, включает:

- клеточные технологии,
- рентгеновское и нейтронное малоугловое рассеяние,
- рентгеноструктурный анализ белков,
- ядерный магнитный резонанс,
- масс-спектрометрический анализ,
- лазерная корреляционная спектроскопия,
- атомная силовая микроскопия,
- флюоресцентная микроскопия,
- проточная цитофлюориметрия,
- современные компьютерные технологии для математического анализа модельных систем,
- конформационный анализ нуклеопротеидных комплексов,
- методы очистки и характеристики белков,
- химико-ферментативные методы синтеза углеводсодержащих биологически значимых соединений,
- иммунологические методы,
- электрофоретические методы,
- выключение экспрессии генов через интерференцию РНК,
- полимеразная цепная реакция,
- методы прививания опухолей животным,
- опыт клинической работы с онкологическими больными.

Высокий уровень фундаментальных исследований, проводимый лабораториями ОМРБ, позволяет применять получаемые результаты и методические достижения молекулярной и клеточной биологии в диагностике и лечении онкологических, нейродегенеративных и других заболеваний.

Существующий прогресс в онкологии связан с достижениями в области клеточной биологии. Однако, основная проблема, возникающая при использовании получаемой в современных фундаментальных исследованиях информации для нужд практического здравоохранения, связана с тем, что большинство разработок основываются, главным образом, на молекулярно-генетических и биохимических методологиях, оперирующих с ОТДЕЛЬНЫМИ генами и белками, нарушение функции которых существенно для возникновения злокачественных новообразований. Поскольку **изменения, приводящие к канцерогенезу, относительно случайны** и происходят среди большого набора генов, которые могут принимать участие в формировании опухолей, то **возникающие опухоли даже сходного гистогенеза, не являются абсолютно одинаковыми** и могут существенно различаться по чувствительности к тому или иному виду терапии.

В настоящее время в содружестве с медицинскими учреждениями Санкт-Петербурга используются следующие разработки ОМРБ ПИЯФ:

1. . **Иммунотерапия злокачественных опухолей с помощью терапевтической вакцинации дендритными клетками, несущими опухолевый антигенный материал**, с использованием оригинального варианта методики иммунотерапии опухолей центральной нервной системы, основанной на получении из моноцитов крови специализированных антиген – представляющих дендритных клеток. (Патент «Способ лечения злокачественных опухолей головного мозга» № 2192263 приоритет от 17.08.2000). На базе этой разработки в РНХИ им. А.Л. Поленова создан протокол клинического применения данного варианта иммунотерапии и в течение нескольких лет проводится его первичная апробация на ограниченном контингенте больных, у которых возможности иного рода терапии исчерпаны. Полученные результаты позволили сделать заключение о том, что у пациентов, получающих специфическую противоопухолевую иммунотерапию, продолжительность жизни существенно превысила таковую в контрольной группе, составив в среднем 18-19 месяцев против 7-8 при традиционном лечении без применения иммунотерапии. При этом в ряде случаев с помощью иммунотерапии удавалось добиться полного исчезновения опухоли.

2. **Новый вариант химиотерапии злокачественных опухолей основанный на использовании комбинации известных противоопухолевых агентов**, в котором предлагается новая схема противоопухолевой химиотерапии, основанная на применении комбинации известных противоопухолевых агентов, арабинозида цитозина (АЦ) и оксимочевина (ОМ). Ключевым моментом предлагаемого способа лечения является то, что он основан на подавлении репарации ДНК, что не присуще ни одному из широко применяемых способов химиотерапии.

3. **Высоко чувствительный метод количественной регистрации воспалений, основанный на измерении реакции респираторного взрыва нейтрофилов периферической крови с помощью метода проточной цитофлюориметрии**, который может позволить с высокой чувствительностью определять неявные хронические воспалительные процессы, имеющие место при различных патологиях. В случае онкологических заболеваний чувствительная количественная оценка воспалительных реакций позволяет судить о наличии иммунологического конфликта с опухолью.

ОМРБ в рамках общеакадемической программы работ в области нанотехнологий до 2015 года реализует следующие проекты:

1. Принципы системной биологии в решении проблем клеточной онкологии.

В рамках этого проекта разрабатываются методы и технологические приемы, которые должны быть связаны с поиском **РАЗЛИЧИЙ** между злокачественно трансформированными и нормальными клетками на уровне функционирования комплексных биологических **НАНОБИОСТРУКТУР**. Описанные на сегодняшний день различия между нормальными и злокачественно трансформированными клетками носят большей частью описательный, феноменологический характер. Необходимо их **системное изучение** с выявлением количественных закономерностей на уровне нанобиоструктур, которые могут быть потенциальной мишенью для развития новых вариантов диагностики и терапии. Такого рода исследования необходимо проводить в условиях максимально приближенных к ситуации в живой клетке, что возможно только с использованием современных физических подходов и требует адекватного приборного обеспечения, наряду с обязательным междисциплинарным подходом, предполагающим образование научных коллективов, состоящих из специалистов в различных областях физики и биологии.

Проект направлен как на развитие и совершенствование уже имеющихся клинически значимых разработок, предложенных ранее, так и на разработку новых вариантов диагностических и терапевтических подходов, основанных на фундаментальных исследованиях, проводящихся совместными усилиями лабораторий, включившихся в проект.

В рамках второго проекта разрабатываются простые и надежные методы диагностики нейродегенеративных процессов в мозге больных (болезнь Альцгеймера, болезнь Паркинсона) и проводится поиск нейропротекторов, способных предотвратить или, по крайней мере, замедлить развитие заболевания. Используя модели нейродегенеративных заболеваний в *Drosophila melanogaster* и анализ клеток периферической крови (лейкоциты, тромбоциты), была разработана система позволяющая быстро оценить развитие нейродегенеративного процесса и провести анализ терапевтического эффекта уже известных и новых нейропротекторов. Точность методов диагностики и скрининга обеспечивается применением нового поколения флуоресцентных зондов, использующих конъюгаты нанокристаллов (Qdot Nanocrystal Technology, Invitrogen) и конъюгатов наночастиц коллоидального золота и серебра (GoldMark Biological). Реализация проекта позволит производить:

- 1) Определение мишеней в нарушении клеточных процессов при болезни Альцгеймера и болезни Паркинсона
- 2) Определение белковых молекул, участвующих в развитии патологического процесса.

Оборудование.

Большинство клеточных процессов, связанных с поддержанием стабильности генома, осуществляется динамическими, гетерогенными, макромолекулярными комплексами, образующими агрегаты, которые можно назвать биологическими наноструктурами. При изучении процессов такого рода всегда существовала проблема визуализации изучаемых биомacroмолекул в нативном («живом») состоянии и их транспорта в живой клетке. В последние десять - пятнадцать лет на Западе, на основе оптической микроскопии, бурно развивается метод флуоресцентной конфокальной микроскопии,

который в настоящее время достиг таких возможностей в пространственном и временном разрешении, что позволяет регистрировать в живой клетке транспорт отдельной, флюоресцирующей молекулы. Можно с уверенностью предсказать, что в ближайшие годы благодаря этому методу появится возможность не только визуализировать отдельные изучаемые биомакромолекулы в живой клетке, но и измерять необычайно тонкие взаимодействия этих биомакромолекул, как в «здоровой», так и в раковой клетке. Количественная регистрация процессов образования, функционирования и внутриклеточного транспорта, биологических наноструктур сегодня невозможна без использования техники конфокальной флюоресцентной микроскопии нового поколения. Если атомная силовая микроскопия дает информацию только о топографии поверхности исследуемых объектов, то конфокальная флюоресцентная микроскопия позволяет осуществлять визуализацию исследуемых объектов в трехмерном виде и в живой клетке. Изготовлением конфокальных микроскопов производят фирмы “Karl Zeiss” (Германия), “Olympus” (Япония) “Leica” (Германия) ОАО “NT-MDT” (Россия). Флюоресцентный конфокальный микроскоп нового поколения Leica TCS SP5, который в одной установке совмещает практически все достижения техники конфокальной микроскопии последних лет, является прибором, который в ближайшие пять лет будет конкурентным на этом рынке и востребован учеными разных областей. Цена этого прибора в полной комплектации, которая и необходима для Узла, составляет 1200000 евро.

В наши дни важнейшая роль углеводного обмена в живом организме становится все более очевидной. В связи с пониманием таких процессов развивается использование различных олигосахаридов во многих областях медицины и технологии: например, снижение воспалительных ответов блокированием селектинов, иммунизация против раковых опухолей, ингибирование патогенных вирусов, дрожжей и бактерий, поиск клеточных мишеней для генной терапии. Однако трудности, возникающие при синтезе многих олигосахаридов методами органической химии, стимулировали развитие ферментативных и хемо-ферментативных подходов к решению этой проблемы. В настоящее время появилась новая область науки – белковая инженерия, позволяющая менять свойства биокатализаторов для использования в медицине и биотехнологии. Очевидно, что без современного биофизического оборудования невозможно даже приблизиться к тому уровню исследований, который является рутинным для зарубежных лабораторий. В ОМРБ накоплен значительный опыт в производстве и изучении ферментов углеводного метаболизма. Современные методы, позволяющие исследовать структурно-функциональные свойства ферментов–биокатализаторов, основаны на применении ЯМР-спектроскопии, масс-спектрометрии и рентгеноструктурного анализа белка. Для успешного проведения таких экспериментов необходимо получение высокоочищенных изучаемых ферментов в достаточно больших количествах. Для этого совершенно необходимо современное ферментативное оборудование для культивирования микроорганизмов и других продуцентов ферментов (бактерий, низших грибов, культур клеток), а также оборудование для очистки белков и других биомолекул с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии на ионообменных, гидрофобных, аффинных хроматографических колонках. В России на данный момент существуют фирмы, осуществляющие поставку био-реакторов и ферментеров различного объема от ряда мировых производителей (<http://www.fermenter.ru/>, представитель швейцарской фирмы Bioengineering AG). Цены на оборудование в зависимости от комплектации и рабочего объема находятся в

диапазоне от \$45000 до \$150000.

Российская фирма ООО «Валтекс-Рус» является официальным представителем корпорации Valtex International Corporation (VIC), осуществляющей продажи оборудования для высокоэффективной жидкостной хроматографии. Средняя стоимость модульной системы для очистки биомолекул в зависимости от комплектации и фирмы-производителя находится в диапазоне от \$ 35 000 до \$ 70 000.

Масс-спектрометрия - это метод, обладающий чрезвычайной чувствительностью, позволяющий определять 10^{-12} г вещества. Это свойство в сочетании с источниками ионизации при атмосферном давлении определило его широкое применение в биомедицинских исследованиях. В задачах, связанных с идентификацией белков масс-спектрометрия позволяет идентифицировать минорные внутриклеточные и секретируемые белки и продукты их фрагментации, в частности изучать пост-трансляционные изменения биополимеров (ДНК, белки) и их структурную гетерогенность, определять структурные изменения вследствие различных взаимодействий, при их воспроизводстве. В фармакинетике, метод позволяет определить пути метаболизма лекарственных средств и других соединений и на основе этой информации разрабатывать новые целевые лекарственные средства. В задачах энзимологии масс-спектрометрия позволяет изучать спектр продуктов, образующихся под действием ферментов; изучить промежуточные соединения в ферментативных реакциях и по этим данным определить механизм действия.

Масс-спектрометрия - единственный метод, решающий все эти и многие другие задачи аналитической биохимии.

В настоящее время при изучении кинетики химических и биохимических реакций широко используется метод остановленного потока, реализованный в «стоп-флоу» спектрометре. Изучение кинетики и термодинамики быстропротекающих процессов являются составной и необходимой частью исследования механизмов реакций, протекающих в живой клетке. Исследование пред-стационарной фазы ферментативных реакций представляют дополнительную возможность определения механизма действия ферментов, кинетических параметров взаимодействия с субстратами и кофакторами и скоростей химической стадии. В зависимости от способа регистрации (оптическое вращение, круговой дихроизм, флюоресценция или поляризация флюоресценции) метод позволяет изучать широкий спектр задач, от химических превращений, связанных с биомолекулами, до процесса сворачивания белка в глобулу и изменений в мультимолекулярных комплексах.

Необходимые капитальные вложения по направлению молекулярной и радиационной биофизики в области «Нанодиагностики» и «Живых систем»

№ п/п	Наименование оборудования, объекта, работ	Стоимость, млн. руб.
1	Конфокальный микроскоп	50
2	Линия, включающая двумерный ВЭЖХ с масс-спектрометром и ЯМР-спектрометром	150

3	Современное оборудование для клеточных технологий	5
4	Современное оборудование для культивирования микробных культур	10
5	Центрифуги	10
6	Ультрацентрифуги	10
7	Проточный цитофлюориметр	7
8	Спектрофотометры	5
9	Спектрофлюориметры	5
10	Стоп-флоу спектрометр	5
11	Квенч-флоу спектрометр	5
12	Оборудование для очистки белков и биологически важных соединений	5
13	Кристалл-дифрактометр	50
14	Современная компьютерная система	5
15	Реконструкция коммуникационных систем и лабораторных помещений	150
16	Использование станции малоуглового рентгеновского рассеяния и белковой кристаллографии на синхротроне Научно-технического комплекса «Курчатовский центр синхротронного излучения и нанотехнологий», а также малоугловых установок рентгеновского и нейтронного излучения в Гренобле (Франция) и Мюнхене (Германия).	3
		Итого 475 млн. руб.

Информационно-вычислительное обеспечение

В институте создана и успешно функционирует развитая информационно-вычислительная инфраструктура, обеспечивающая поддержку научных исследований. В эту инфраструктуру входит локальная компьютерная сеть института, средства телекоммуникации, обеспечивающие скоростной доступ в Интернет для работы с коллективными информационными и вычислительными ресурсами, вычислительные и информационные ресурсы института.

Локальная вычислительная сеть (ЛВС) В состав ЛВС института в настоящее время входит более 850 компьютеров. Большинство компьютеров этой институтской сети имеют связь с Интернет. Доступ ЛВС института в Интернет обеспечивается использованием каналов с пропускной способностью 100 Мбит/сек – 1000 Мбит/сек. Схема внешних каналов связи ЛВС и вычислительного кластера с Интернет представлена на рис.1. Коннективность с опорной сетью Санкт-Петербургского Научного Центра (СПбНЦ) реализована для обеспечения работы региональной академической ГРИД-структуры и back-up канала для выхода в международные научные сети.

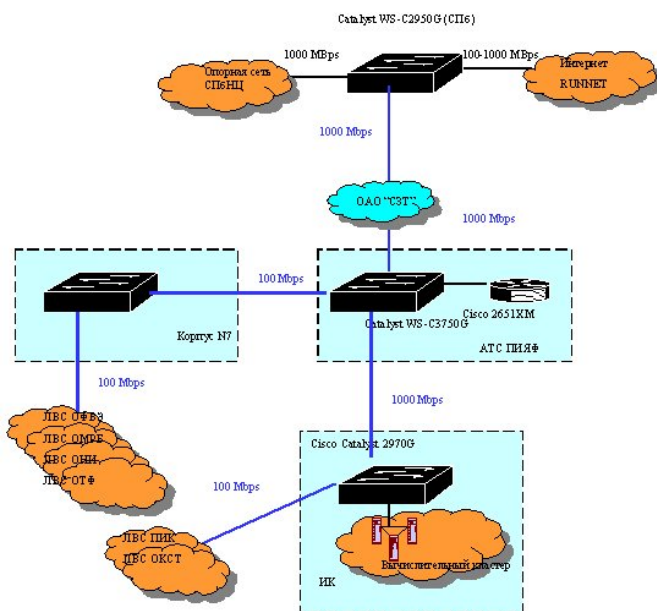


Рис. 1. Схема ЛВС ПИЯФ РАН и внешних каналов.

В качестве транспортной среды используются одномодовое оптоволокно. Общая протяжённость канала ~ 54 км. Всё каналообразующее оборудование, различные коммутаторы и маршрутизаторы являются собственностью института. Ежемесячный объём информационного трафика института составляет $\sim 1,5$ Тбайт/мес. Подавляющий вклад в величину трафика даёт институтский кластер, который является одним из вычислительных узлов ГРИД-инфраструктур консорциума RDIG (Russian Data Intensive Grid) и проекта EGEE/LCG (Enable Grid for E-science/LHC Computing Grid).

Вычислительный кластер состоит из 50 двухядерных узлов (Intel-IV) общей производительностью ~ 80 KSI2K. Для хранения данных используются 2 дисковых сервера SATA RAID общим объёмом 8 ТБ. Управление функционированием кластера осуществляют два сервера (Intel Dual Xeon).

Уже в течение двух лет этот кластер используется как один из вычислительных центров всемирной EGEE/LCG ГРИД-инфраструктуры (Всего в эту инфраструктуру входят свыше 180 центров в различных странах мира).

Общее процессорное время, затраченное на эксперименты БАК, составляет около 210 тысяч часов. Кроме этого кластер участвовал в обработке задач ВО BioMed и региональной академической ВО pw_ru (~ 20 тысяч часов использовано сотрудниками института для решения задач в области ядерной физики).

Основными направлениями развития телекоммуникационных ресурсов ПИЯФ является обеспечение скоростного и надёжного доступа институтского кластера и его коллективное использование на основе технологии ГРИД для участия в решении научных задач института, академических институтов Санкт-Петербурга, российских ядерных центров и международных коллабораций, а также предоставление Интернет сервисов, развитие информационных технологий. Для решения этих задач необходима модернизация оптоволоконной транспортной среды внутри института для обеспечения пропускной способности порядка 10 Гбит/с.

Сотрудниками ПИЯФ были разработаны такие системы для информационной поддержки сборки и тестирования торцевых элементов субдетектора TRT проекта ATLAS, сборки и тестирования мюонных камер для мюонной системы проекта LHCb. Подобные проекты получили название Производственные Базы Данных (ПБД). На Рис.4 представлены примеры диаграмм результатов некоторых тестов контроля торцевых элементов TRT.

Создание ПБД позволяет решать основные информационные задачи, которые особенно важны при распределённом характере производства сложных физических экспериментальных установок, а именно:

- сбор данных с тестовых стендов
- ввод данных в ручном режиме с помощью удобных экранных форм
- централизованное хранение данных
- представление и визуализация данных
- первичный анализ тестовых данных

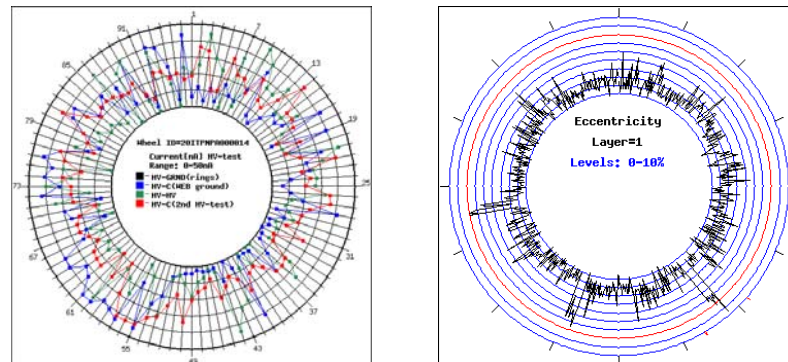
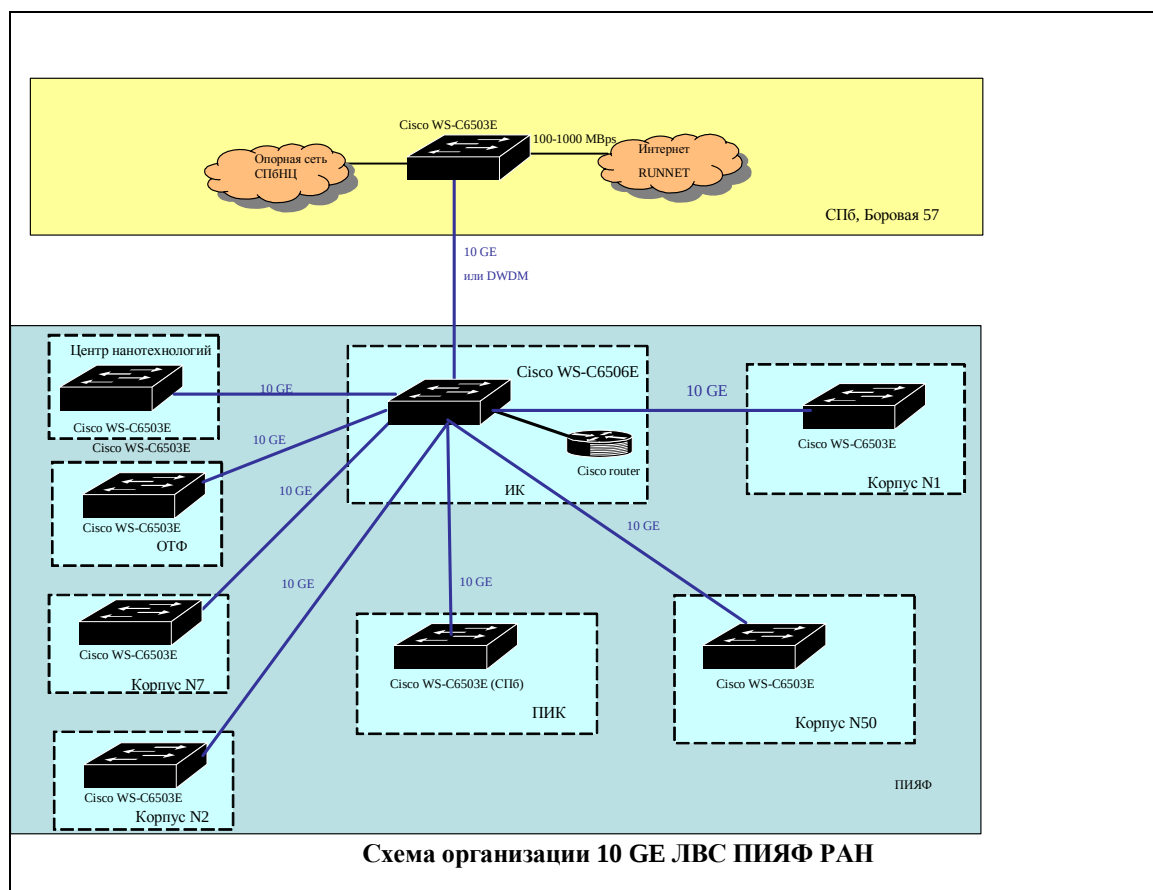


Рис. 2. Примеры диаграмм результатов тестов торцевых элементов TRT

Обновление информационно-коммуникационной инфраструктуры ПИЯФ РАН будет осуществляться в следующих направлениях:

- Повышение пропускной способности магистральных каналов передачи данных ЛВС института до 10-40 Гбит/с. **(10 млн. руб.)**
- Прокладка дополнительных волоконно-оптических кабелей (ВОК) на территории института и до территории планируемого центра нанотехнологий. Используемые в настоящее время многомодовые ВОК позволяют обеспечить реализацию режима передачи данных 10 GE на расстояния, не превышающие 300 м. Исклучение составляет ВОК проложенный а 2006 г. между корпусом ИК и АТС для обеспечения доступа ресурсного центра ПИЯФ РАН в научно-образовательные сети на скорости 1 Гбит/с. **(25 млн. руб.)**

Ресурсный центр ПИЯФ РАН может быть включен в Санкт-Петербургскую Грид –инфраструктуру по нанотехнологиям, создание которой может базироваться на транспортной оптоволоконной среде академической сети РОКСОН



ПИЯФ РАН и образование

ПИЯФ является крупнейшим в Петербурге академическим институтом и для его эффективного функционирования необходимо регулярное пополнение специалистами самого разного профиля: от физиков-теоретиков и экспериментаторов различных направлений, общих химиков, радиохимиков до биофизиков и генетиков. В условиях кризиса образовательной системы и катастрофической нехватки квалифицированных кадров ПИЯФ РАН активно включился в процесс подготовки молодых специалистов, начиная со средней школы.

С этой целью ПИЯФ организовал для школьников Гатчины и района факультативные курсы с углубленным изучением естественнонаучных дисциплин (математики, физики, химии и биологии). Цикл обучения - два года. Весной завершающего года обучения ученики с курсов ПИЯФ принимают активное участие в досрочных олимпиадных экзаменах в Политехническом институте и Госуниверситете. Часть из них продолжает обучение в Политехническом институте на кафедрах экспериментальной ядерной физики, биофизики и экспериментальной физики, где организованы новые профильные специальности по физике твердого тела, нейтронной физике, физико-химической биологии, на которых также преподают сотрудники ПИЯФ РАН. Эти кафедры являются базовыми кафедрами ПИЯФ. Начальную программу подготовки кадров институт реализует с 1998 года сначала на базе политехнического лицея № 233. В 2000 году центр занятий переместился в лицей № 3 г. Гатчины.

Следует отметить, что в отличие от других подготовительных курсов, факультатив ПИЯФ РАН является бесплатным для учащихся: институт и, по мере своих ограниченных возможностей, лицей № 3 оплачивают труд преподавателей курсов. Дирекция ПИЯФ РАН, понимая важность пополнения института молодежью и, несмотря на долговременное тяжелое финансовое положение института, выделяет посильные средства и на приобретение необходимой оргтехники для обеспечения нормального учебного процесса.

Кафедра «Нейтронная физика»

В Академическом физико-технологическом университете создана кафедра Нейтронной физики для подготовки физиков-экспериментаторов высшей квалификации, специализирующихся по научным направлениям, развиваемым, в ПИЯФ РАН. На обучение принимаются лица, имеющие бакалаврскую подготовку соответствующей направленности. В аспирантуру принимаются лица, имеющие магистерский диплом. Срок обучения 3 года. Обучение на кафедре проводится по специально разработанным программам, отражающим современное состояние и тенденции в науке. Преподавание осуществляется, в основном, ведущими специалистами ПИЯФ РАН. А для практического обучения используются как базовые установки института – ядерный реактор ВВРМ и протонный ускоритель на энергию 1 ГэВ, так и установки ряда зарубежных ядерных центров. Для иногородних студентов предоставляются места в общежитиях ПИЯФ РАН. Студенты и аспиранты кафедры имеют возможность пользования библиотекой, поликлиникой, спортивным комплексом, базой отдыха и другими структурами ПИЯФ РАН.

Ассоциация университетов

С целью повышения эффективности научно-педагогической работы Российских университетов и вовлечения студентов в научную деятельность на базе ПИЯФ РАН создана Ассоциация Университетов, включающая в себя 18 Университетов России. Работа студентов и сотрудников Российских Университетов на высокотехнологичном оборудовании ПИЯФ РАН позволяет, с одной стороны, существенно повысить уровень профессиональной подготовки студентов из университетов, входящих в Ассоциацию, и снять остроту кадровой проблемы в ПИЯФ РАН, с другой. Тем самым воспитываются высококвалифицированные кадры, поддерживается нейтронная научная школа в России, а полученные результаты и разработка новых методик исследования с помощью нейтронов служит базой для развития научного потенциала России и создания новых материалов и технологий.

В состав ассоциации университетов входят:

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Санкт-Петербургский государственный университет

Самарский государственный университет

Санкт-Петербургский государственный университет путей сообщения

Томский государственный политехнический университет

Ульяновский государственный технический университет(филиал УГТУ,
г.Димитровград)

Брянский государственный технический университет

Тольятинский государственный университет
 Петрозаводский государственный университет
 Стерлитамакская государственная педагогическая академия (Башкорстан)
 Ростовский государственный университет
 Харьковский государственный университет (Украина)
 Уральский государственный университет
 Тверской государственный университет
 Воронежский государственный университет
 Белгородский государственный университет
 Дальневосточный государственный университет путей сообщения
 Волгоградский государственный технический университет



Подписание учредительных документов о создании Ассоциации университетов России и ПИЯФ РАН

Научно-образовательная структура Биофизика, созданная при СПбГПУ

В 1999 г. совместным решением Санкт-Петербургского государственного политехнического университета и Петербургского института ядерной физики РАН создан межведомственный научно-образовательный Центр “Биофизика и физика конденсированного состояния” и открыт прием студентов на специализацию структурная биология. Разработана образовательная программа, позволяющая выпускать специалистов-биофизиков со знаниями от общей до молекулярной биологии, от нормальной физиологии и анатомии человека до иммунологии и медицины, в основе которых лежит структурно-функциональный анализ белков – продуктов генов про- и эукариот, который не возможен без современных молекулярных биофизических методов.



молекулярной физиологии,

ОМРБ ПИЯФ РАН имеет базовую кафедру «Биофизика и нанобиотехнологии» и НОЦ «Биофизика» в СПбГПУ. Чтение курсов лекций и проведение семинаров и практических занятий со студентами обеспечивается ведущими специалистами ПИЯФ им Б.П. Константинова РАН, ФТИ им А.Ф. Иоффе РАН, ИЭФ им Сеченова РАН, ИФ им

И.П. Павлова РАН, ИНЦ РАН и профессорами кафедры экспериментальной физики СПбГПУ. Из 19 штатных сотрудников НОС «Биофизика» в процессе преподавания участвуют 12 человек (3 профессора, 6 доцентов и 3 преподавателя). Кроме того, в преподавании дополнительно участвуют 7 профессоров и 10 доцентов из ПИЯФ и других академических и ведомственных институтов С.-Петербурга.

За последние 3 года: получено грантов - 15; именных стипендий – 12; опубликовано статей - 18, в том числе в иностранных изданиях – 9; обучается студентов (3-6 курсы) – 38; обучается аспирантов – 6; выпущено магистров – 15 (из них продолжило обучение в аспирантуре – 8 или 9)

Филиал кафедры "Вычислительная физика" Физического факультета Санкт-Петербургского Государственного университета

В ПИЯФ РАН создан филиал кафедры «Вычислительная физика» по подготовке магистров физики из числа студентов физического факультета, успешно защитивших бакалаврские диссертации. Руководитель филиала кафедры заведующий лабораторией информационно-вычислительных систем ПИЯФ РАН, доктор технических наук, профессор Ю.Ф.Рябов. Лекции и практические занятия проводят сотрудники лаборатории информационно-вычислительных систем.

В программу подготовки входят:

1. Дисциплина направления

- Информационно-измерительные системы в ФВЭ

2. Специальные дисциплины

- Экспертные системы
- Структуры данных и методы работы с ними
- Специальные практикумы

3. Дисциплины по выбору

- Мультипроцессорные системы, сети и их применение в ФВЭ
- Базы данных в системах научных исследований
- Операционные системы
- Объектно-ориентированный подход при создании сложных систем автоматизации
- Графика в физических исследованиях

ПИЯФ РАН и Гатчина

Муниципальное образовательное Учреждение "Центр информационных технологий" открылся в Гатчине в апреле 2003 г. в соответствии с программой «Информатизация системы образования Ленинградской области на 2002 – 2006 гг.» В августе этого же года Центр получил лицензию на право осуществления образовательной деятельности.

Учредителями Центра являются Муниципальное Образование «Город Гатчина» и Петербургский институт ядерной физики Российской Академии Наук.

За первый же год работы Центра Гатчина вышла на одно из первых мест в Ленинградской области по количеству педагогов, освоивших навыки работы с компьютером.

Основные задачи, стоящие перед Центром:

1. Подготовка административно-педагогического состава города к грамотному использованию новых информационных технологий в учебном процессе.
2. Построение магистральной коммуникационной сети, обеспечивающей возможность подключения к сети Интернет всех образовательных учреждений города.
3. Создание сервисной службы для поддержки технических и программных средств, имеющихся в городских образовательных заведениях.
4. Создание и поддержка единой сетевой организационно-образовательной среды города.

Открытие Центра в городе позволило значительно увеличить число обучающихся по сравнению с предыдущими годами, поскольку появилась возможность совмещения работы с обучением, сократились командировочные расходы. За время работы Центра Гатчина с последнего места по числу педагогов, владеющих компьютером, вышла на первое место в Ленинградской области.

Сотрудники Центра регулярно проводят семинары с педагогами методических объединений, на которых демонстрируют существующие программные пакеты по соответствующим предметам. На таких семинарах оцениваются достоинства и недостатки пакетов, выбираются лучшие для использования на уроках.

Педагогам, подготовившим уроки с использованием новых технологий, Центр предоставляет свои помещения и технику, если в школе нет условий для проведения таких уроков.

Инженеры Центра активно помогают образовательным учреждениям в установке, наладке и обслуживании техники, которая поступает к ним по программе информатизации.

Центром развернута большая программа обучения школьников:

1. организованы группы старшеклассников, обучающихся основам работы на ПК, программированию, WEB-дизайну, компьютерной графике;
2. заключен договор с Гуманитарным Центром тестирования (МГУ, Москва) на проведение профориентационного тестирования школьников и репетиционного

тестирования для подготовки к Единому государственному экзамену.



Повышение эффективности системы образования, возрастание качества и доступности образовательных услуг невозможны без профессионального развития педагогов в области применения информационно-коммуникационных технологий (ИКТ). Непрерывность образования – неременное условие

подготовки высоко профессиональных педагогических кадров.

Если программа «Основы работы на ПК» позволяет сделать первые шаги в освоении компьютерной грамотности, то программа следующей ступени «Интернет-технологии» предполагает освоение Интернет-ресурсов и возможностей их использования в профессиональной деятельности.

Дальнейшее освоение ИКТ включает спецкурсы углубленного изучения Excel, PhotoShop и т.д., позволяющие более гибко и дифференцированно решать конкретные проблемы, возникающие у педагогов.

С каждым годом педагоги все активнее применяют ИКТ в профессиональной деятельности, демонстрируют свои разработки на ежегодной международной конференции «Школьная информатика и проблемы устойчивого развития».



подготовленности, выбирает программу программирования и WEB-дизайна.

Отдельного упоминания заслуживает программа курса «Компьютерная изостудия». Сочетание в одном занятии разных технологий – «бумажной» и компьютерной – приводит к развитию у детей разносторонних навыков в создании изобразительного произведения. Перспективность такой методики

Повышая уровень ИКТ компетентности педагогов, ЦИТ активно работает и с учащимися, руководствуясь стремлением не просто передать ребенку определенную сумму знаний, но и развить в нем способность к творчеству, желание вести самостоятельное исследование. В этой работе не менее важен принцип многоступенчатости обучения, при котором учащийся, в зависимости от своей подготовки, выбирает программу обучения – от базового курса до языков



подтверждается тем, что в конкурсах компьютерной графики эти дети уверенно занимают лидирующие позиции.

Еще одним важным шагом на пути к информатизации системы образования является участие Центра в разработке и организации дистанционного обучения учащихся. В дистанционной среде есть все условия для активной самостоятельной работы учащихся, творчества педагогов, гибкой организации учебного процесса, создания сетевых образовательных сообществ.



Современные дети одновременно учатся читать, писать и общаться с компьютером. Поэтому внедрение ИКТ в работу дошкольных учреждений – очевидная необходимость. Показать детям компьютер как средство знакомства с миром изобразительного искусства – задача, которую выполняет ЦИТ. Циклы лекций «Здравствуй, музей!», «Учись смотреть и видеть» пользуются

растущей популярностью в дошкольных учреждениях и в начальных классах школ, инициируя и развивая стремление детей к дальнейшему знакомству с миром прекрасного.

Огромной популярностью среди населения Гатчинского района пользуются лекции по искусству, которые регулярно читают в Центре сотрудники Государственного Русского Музея.

Новые перспективы для образования открывает использование телеконференцсвязи. Лекции для школьников, находящихся в ЦИТ разных муниципальных образований Ленинградской области, читают специалисты самого высокого уровня. Трудно переоценить появившуюся у детей возможность практически вживую пообщаться с учеными мирового уровня, прослушать лекции, задать вопросы и сразу получить ответ.



С 2007 г. научные сотрудники ПИЯФ начали чтение курсов углубленного изучения химии и биологии, а также подготовку учащихся к участию в олимпиадах по физике и информатике.

Задачей Центра информационных технологий, как связующего звена муниципальной образовательной сети, является выработка единой политики доступа к ресурсам Интернета всех ОУ муниципалитета на равных условиях. Корпоративная сеть, созданная в г. Гатчине при содействии ПИЯФ РАН, позволяет экономить затраты по внешнему трафику за счет использования прокси-сервера ЦИТ, исключает затраты по обслуживанию внутреннего трафика, обеспечивает контроль доступа к ресурсам, исключает посещение неблагонадежных сайтов, обеспечивает антивирусную и антиспамовую защиту.

Объединение научного, информационного и педагогического потенциала безусловно позволит поднять качество образования в Гатчинском муниципальном районе на новый уровень.



Рис. НОЦ ПИЯФ РАН