

Российская Академия наук  
Ордена Ленина Сибирское отделение  
Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН

**ОТЧЁТ СИБИРСКОГО ЦЕНТРА СИНХРОТРОННОГО  
И ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЗА 2005 ГОД.**

**НОВОСИБИРСК  
2006**

В настоящем отчете в краткой форме изложены основные направления и результаты деятельности Сибирского центра синхротронного и терагерцового излучения в 2005 году. Описаны существующие и разрабатываемые экспериментальные станции на пучках синхротронного излучения из накопителя ВЭПП-3, обсуждаются результаты исследований, проведенных на этих станциях в 2005 году. Описаны результаты деятельности Центра по использованию терагерцового излучения, разработке лазеров на свободных электронах и созданию Сибирского центра фотохимии. В последней части описаны работы по созданию специализированных накопителей – источников СИ и специальных генераторов СИ – вигглеров и ондуляторов. В конце отчета помещён список публикаций за 2005 год, выполненных с участием сотрудников Центра, и авторский указатель к нему. Мы благодарны всем сотрудникам Сибирского центра и других организаций, предоставившим свои материалы для этого отчёта.

Редакторы–составители: В.Б.Барышев и К.В.Эпштейн.

## **СИБИРСКИЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЦЕНТР СИНХРОТРОННОГО И ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

630090 Новосибирск, пр. Лаврентьева 11, ИЯФ им. Г.И.Будкера СО РАН  
Факс: (383) 330 71 63 INTERNET <http://ssrc.inp.nsk.su>

Директор Центра:

зам. директора Института ядерной физики им. Г.И.Будкера СО РАН, академик РАН  
**КУЛИПАНОВ Геннадий Николаевич**  
Тел. (383) 339 44 98 e-mail: [kulipanov@inp.nsk.su](mailto:kulipanov@inp.nsk.su)

**РУКОВОДИТЕЛИ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ СИБИРСКОГО ЦЕНТРА СИ:**

д.ф.–м.н., зав. лабораторией 8-1  
**ВИНОКУРОВ Николай Александрович**  
Тел. (383) 339 40 03, e-mail: [vinokurov@inp.nsk.su](mailto:vinokurov@inp.nsk.su)

д.ф.–м.н., зав. лабораторией 8-2  
**МЕЗЕНЦЕВ Николай Александрович**  
Тел. (383) 339 41 55, e-mail: [mezentsev@inp.nsk.su](mailto:mezentsev@inp.nsk.su)

## Содержание.

<b>1. Введение.</b>	4
<b>2. Работы на пучках СИ из ВЭПП-3</b>	5
2.1. Экстремальные состояния вещества	5
2.2. LIGA-технология и глубокая рентгеновская литография	10
2.3. Аномальное рассеяние и прецизионная дифрактометрия	13
2.4. Рентгенофлуоресцентный элементный анализ	16
2.5. Дифрактометрия при энергии квантов 33.7 кэВ	19
2.6. «Дифракционное кино»	24
2.7. EXAFS-спектроскопия	26
2.8. Метрология и EXAFS-спектроскопия в мягком рентгеновском диапазоне	36
2.9. Рентгеновская томография и микроскопия	37
<b>3. Работа с пучками терагерцового излучения</b>	40
3.1. О терагерцовом излучении	40
3.2. Общая информация об источниках терагерцового излучения на основе электронных пучков и параметры Новосибирского ЛСЭ	41
3.3. Канал вывода терагерцового излучения лазера на свободных электронах	43
3.4. Экспериментальные станции	45
3.5. Разработка и создание специализированной аппаратуры	47
3.6. Некоторые результаты, полученные в 2005 году	50
3.7. Развитие Центра фотохимических исследований на базе ускорителя-рекуператора и ЛСЭ второй очереди на область 3 – 10 ТГц	51
3.8. Рабочее совещание по терагерцовому излучению	55
<b>4. Разработка и создание специализированных генераторов СИ</b>	58
4.1. Сверхпроводящие вигглеры	58
4.2. Несверхпроводящие системы для источников СИ	59
4.3. Проект компактного накопителя – источника СИ	62
Список публикаций за 2005 год.	69
Указатель авторов	91

## 1. Введение.

На базе установок и лабораторий ИЯФ в настоящее время функционируют два центра коллективного пользования - Сибирский центр синхротронного излучения и Сибирский центр фотохимических исследований.

Программа работ Сибирского центра синхротронного излучения в 2005 году включала в себя следующие направления:

- проведение исследований и разработка новых технологий с использованием синхротронного излучения накопителя ВЭПП-3, подготовка к проведению работ на ВЭПП-4М;
- создание экспериментального оборудования для работы с СИ (каналы, экспериментальные станции, рентгеновская оптика, монохроматоры, детекторы);
- разработка и создание ускорителей – специализированных источников СИ;
- разработка и создание специальных магнитных систем для генерации СИ – вигглеров, ондуляторов, superbends;
- обучение и профессиональная подготовка студентов и аспирантов.

Для проведения работ на пучках СИ на накопителе ВЭПП-3 в 2005 году было выделено 1878 часов рабочего времени в режиме “Синхротронное излучение”. В экспериментах были задействованы 10 станций на 7 каналах вывода СИ.

Программа работ Сибирского центра фотохимических исследований в 2005 году включала в себя следующие направления:

- создание экспериментальных станций и проведение исследований на действующем мощном лазере терагерцового диапазона;
- продолжение работы по созданию многооборотного ускорителя-рекуператора и, на его базе, более мощного лазера на свободных электронах ИК-диапазона;
- участие в зарубежных проектах по разработке и созданию мощных ЛСЭ;
- обучение и профессиональная подготовка студентов и аспирантов.

## 2. Работы на пучках СИ из ВЭПП-3.



Рис. 1. Схема размещения экспериментальных станций в бункере СИ на ВЭПП-3.

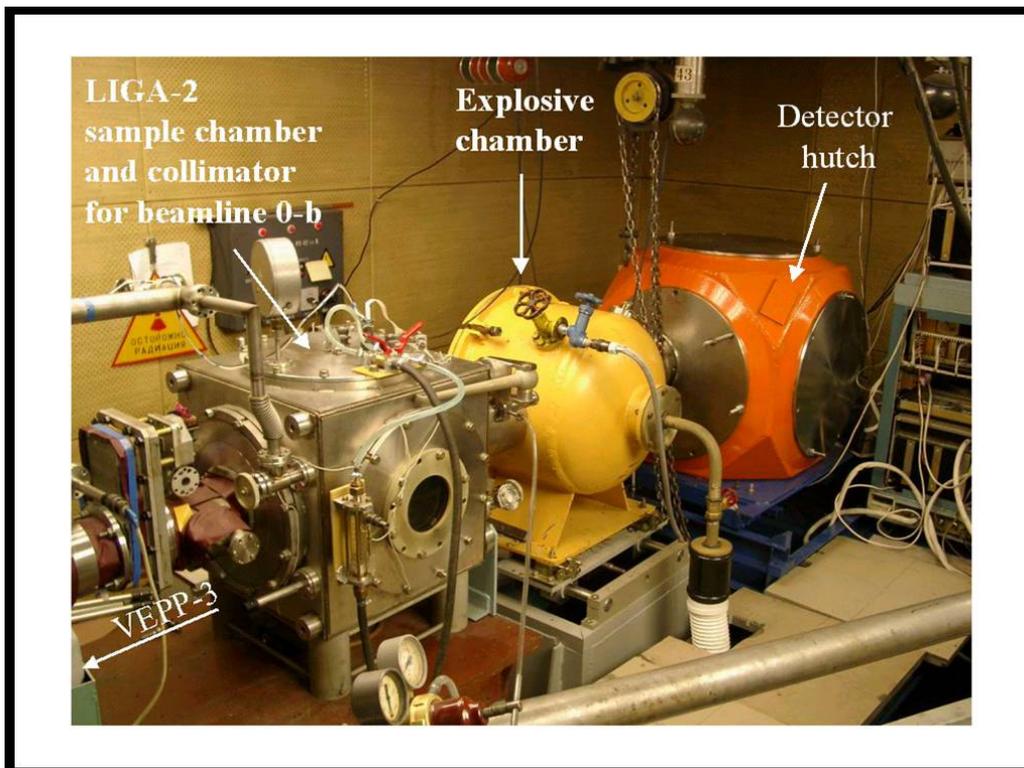
### 2.1. Экстремальные состояния вещества.

Станция "Взрыв" (Экстремальные состояния вещества) предназначена для регистрации проходящего излучения и малоуглового рентгеновского рассеяния при исследовании детонационных и ударно-волновых процессов. Она является единственной в мире. На станции можно проводить эксперименты с использованием до 30 г взрывчатого вещества (ВВ). Особенностью станции является использование взрывной камеры с тонкими бериллиевыми окнами для прохода пучка СИ и системы высокоточного дистанционного перемещения экспериментальной сборки и блока детекторов.

**Статистика работы станции в 2005 году:** отработано с использованием СИ 20 смен, 62 часа пучкового времени, выполнено 119 экспериментальных взрывов.

Таблица 1. Основные технические характеристики станции.

Диапазон энергии	20 – 40 кэВ
Рентгенооптическая схема	Коллиматор Кратки
Размер входного пучка	0.1×10 мм
Время набора спектра рассеяния	1 нс
Интервал набора спектров	250 нс - 1 сек
Полное количество кадров	32
Системы детектирования	DIMEX, кремниевый микростриповый детектор, imaging plate
Разрешение детектора	100 мкм



**Рис. 2.** Общий вид станции “Взрыв” (Экстремальные состояния вещества).

Станция состоит из:

- Взрывной камеры на 30 г. ВВ (взрывного вещества) в тротиловом эквиваленте.
- Блока детекторов.
- Блока формирования пучка СИ.

Взрывная камера. Взрывная камера сделана из нержавеющей стали и имеет: а) входное окно для пучка СИ; б) выходное окно для вывода прямого пучка и рассеянного излучения; в) высоковольтный ввод для инициирования детонатора; г) четыре вывода для синхронизирующих электрических сигналов; д) выхлопной канал для вывода газов (продуктов детонации); е) два крана для подключения к вакуумной системе и для наполнения газами.

По условиям минимальных потерь рентгеновского излучения входные и выходные окна для СИ были изготовлены из бериллия толщиной 2 мм. Для сохранения герметичности окон после взрыва в камере были сделаны специальные «глушители ударной волны». Камера имеет герметичные уплотнения на всех окнах и кранах и может быть откачана и наполнена инертными газами (гелием). Конструкция позволяет дистанционно перемещать по вертикали экспериментальную сборку внутри взрывной камеры с точностью до 5 мкм. Для инициирования зарядов ВВ используются высоковольтные детонаторы.

Блок детекторов представляет собой стальной шестигранник толщиной 20 мм, внутри которого расположен механизм высокоточного перемещения детектора, а также детектор (приёмник) рентгеновского излучения. В этом же блоке расположен быстрый затвор. Для перемещения детекторов установлен двухкоординатный высокоточный привод. Система позволяет дистанционно перемещать детектор по вертикали и горизонтали дискретно с точностью до 5 мкм.

Специально для данной станции был разработан однокоординатный детектор DIMEX для изучения динамики быстропротекающих процессов на пучках СИ, позво-

ляющий накапливать и запоминать информацию о распределении плотности потока рентгеновского излучения за время меньшее, чем расстояние между соседними банчами в накопителе (~100 нс для ВЭПП-3). Детектор может записывать 32 кадра, накопленных в таком быстром режиме, и имеет пространственное разрешение ~0.1мм. Апертура детектора в направлении измеряемой координаты составляет 25,6 мм. В перпендикулярном направлении ~ 2мм. При заполнении камеры смесью Хе-СО<sub>2</sub> (80%-20%) под давлением > 7 атм обеспечивается пространственное разрешение ~200 мкм и эффективность к фотонам 30 кэВ не менее 50%.

### **Проводимые исследования и поддержанные проекты.**

#### **Исследование детонационных и ударно-волновых процессов с помощью СИ.**

Работы проводились в рамках программ РАН «Исследование детонационных процессов в газовых, гетерогенных и конденсированных средах, в том числе для использования их в технологиях», Гос. номер 0120.0 406860 и «Исследование поведения гомогенных и гетерогенных сред при высокоэнергетическом воздействии», Гос. номер 0120.0 406861. Работы были поддержаны грантами СО РАН №120 «Исследование образования и динамики роста наноструктур в детонационных и ударно-волновых процессах с помощью синхротронного излучения» и «Использование синхротронного излучения для исследования динамических процессов в сплошных средах» программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Теплофизика и механика интенсивных энергетических воздействий»

Работы также были поддержаны грантами РФФИ № 05-03-32752 «Исследование динамического равновесия зародышей наноалмазов в детонационных волнах.» и № 04-02-16903 «Исследование короткоживущих возбуждённых состояний вещества в экстремальных условиях высоких температур и давлений методами синхротронного излучения».

В исследованиях принимали участие: Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, Институт теплофизики экстремальных состояний Объединённого института высоких температур РАН (Москва).

Используемые в исследованиях методики (особенно измерение малоуглового рентгеновского рассеяния) являются уникальными и до сих пор в мире не используются. Полученные экспериментальные результаты будут иметь большое значение для понимания возникновения и развития наноструктур, как углеродных, так и наноструктур других элементов в детонационных и ударно-волновых процессах в конденсированных веществах.

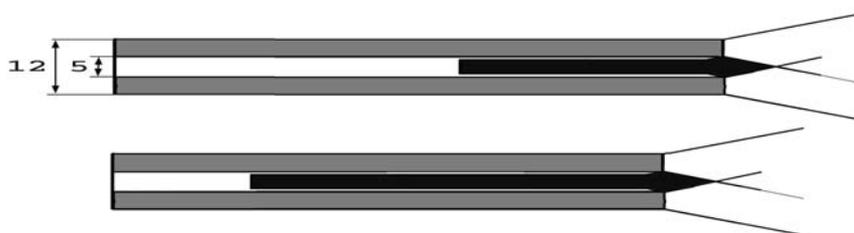
Проведенные взрывные эксперименты методически можно разбить на две группы: измерение распределения интенсивности проходящего рентгеновского излучения и измерение распределения малоуглового рентгеновского рассеяния.

Важным результатом является восстановление распределения плотности в зоне химика в прессованном гексогене. До сих пор в литературе идет дискуссия о существовании химика в этом ВВ. В экспериментах по ударному сжатию аэрогеля впервые получены ударные адиабаты аэрогеля при начальной плотности 0,25 г/см<sup>3</sup> и 0,15 г/см<sup>3</sup>.

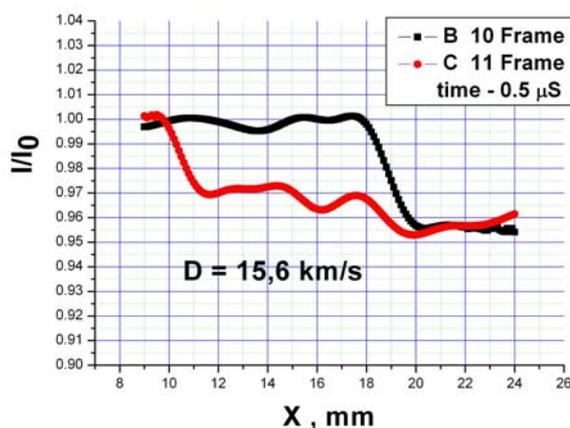
Для улучшения временного разрешения при измерении МУРР был опробован режим работы детектора DIMEX без сброса. В таком режиме удалось сделать записи сигналов МУРР через 125 нс. При этом накопитель ВЭПП-3 работал в двухбанчевом режиме. Линейное разрешение в этих экспериментах достигло 1 мм (при скорости детонации ~ 8 км/с).

### Получение первых экспериментальных данных о плотности газовых кумулятивных струй.

Движение плотных кумулятивных струй (материал струи – медь, вольфрам-медный композит и др.) изучено очень подробно в десятках лабораторий ведущих стран мира, однако существующие физические методы не позволяют исследовать физику движения малоплотных, в частности газовых, кумулятивных струй. Экспериментальные сложности обусловлены главным образом низкой чувствительностью стандартных рентгеновских методов регистрации из-за низкой контрастности исследуемого объекта. Проведённые в ведущих лабораториях мира газодинамические расчёты для ВВ тротил-гексоген дали оценку плотности порядка  $\rho \approx 0,15 \text{ г/см}^3$ . На данной экспериментальной станции впервые в мире удалось зарегистрировать изображение газовой кумулятивной струи и определить её плотность и скорость. В проведённых экспериментах газовая струя образовывалась при детонации трубчатого заряда состава тротил/гексоген 50/50 (Рис.1). Эксперимент был усложнён еще и тем, что очень малая плотность газовой кумулятивной струи измерялась через стенки заряда ВВ, имеющего плотность  $\rho_0 \approx 1,7 \text{ г/см}^3$ . Измеренная скорость струи  $U = 15,6 \text{ км/с}$  совпадает с расчётными данными, а измеренная плотность  $\rho \approx 0,05 \text{ г/см}^3$  оказалась в 3 раза меньше расчётной. Полученный результат чрезвычайно важен для теории кумуляции.



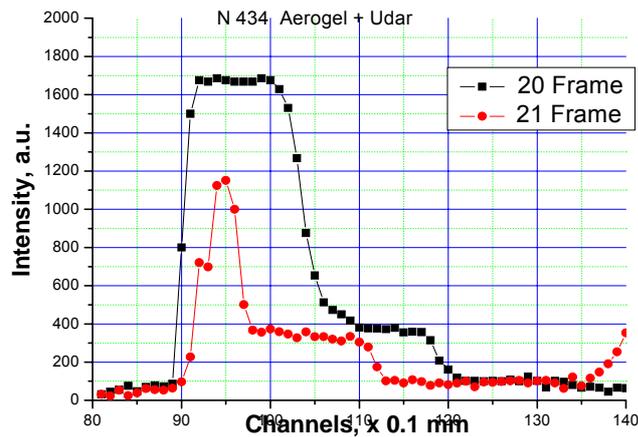
**Рис. 3.** Постановка эксперимента. Серая трубка – исходный заряд ВВ (длина 240 мм, диаметр 12 мм), чёрная полоса – положение кумулятивной струи в двух кадрах В и С.



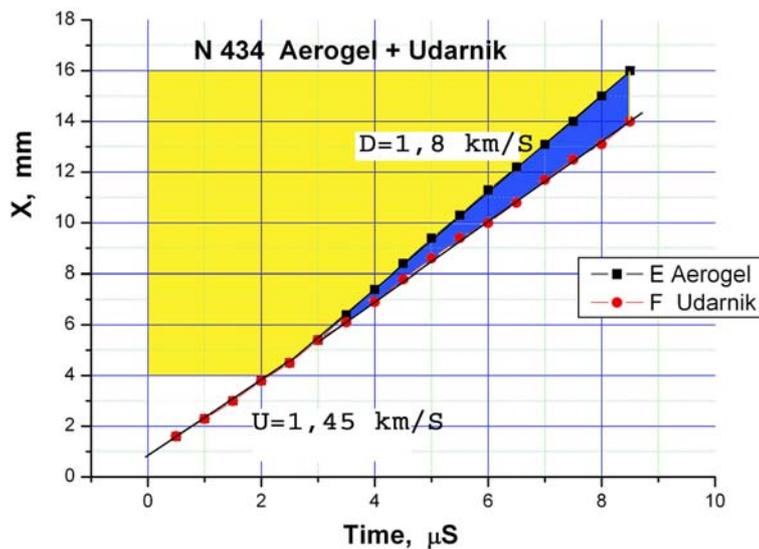
**Рис.4.** Относительное поглощение синхротронного излучения вдоль оси заряда в кадрах В и С, сделанных через 0,5 мкс. Скорость переднего края струи составляет 15,6 км/с.

### Исследование поведения аэросила под воздействием ударных волн: уравнение состояния и процесс разрушения.

Проведены эксперименты по определению ударной адиабаты (определение уравнения состояния) для аэрогеля, поверхность которого достигает  $1000 \text{ м}^2/\text{г}$ . Получены величины сжатия в диапазонах  $U = 1,0 - 1,7 \text{ км/с}$  и плотности  $0,15 - 0,25 \text{ г/см}^3$ .



**Рис.5.** Распределение интенсивности в двух кадрах при ударном сжатии аэрогеля. 20 кадр – до и 21 кадр – после отражения ударной волны от преграды.



**Рис. 6.** x-t диаграмма движения ударной волны и ударника. Скорость ударника (Al) – 1,45 км/с, скорость ударной волны в аэрогеле – 1,8 км/с

На этих же образцах в 2005 г проведена серия экспериментов по исследованию их разрушения ударными волнами. Нами обнаружено, что процессы, инициируемые ударной волной (УВ) в аэросиле пороговым образом зависят от скорости ударной волны: 1) при скорости УВ меньше 2,6 км/с происходит разрушение аэросила без изменения его внутренней микроструктуры, т.е. структуры микрочастиц его составляющих (размер частицы 5 нм); 2) при скорости УВ больше 2,6 км/с, УВ инициируют существенные изменения микроструктуры, сопровождаемые разрушением микрочастиц с последующим спеканием в конгломераты, имеющих нормальное логарифмическое распределение со средним размером в 6 нм.

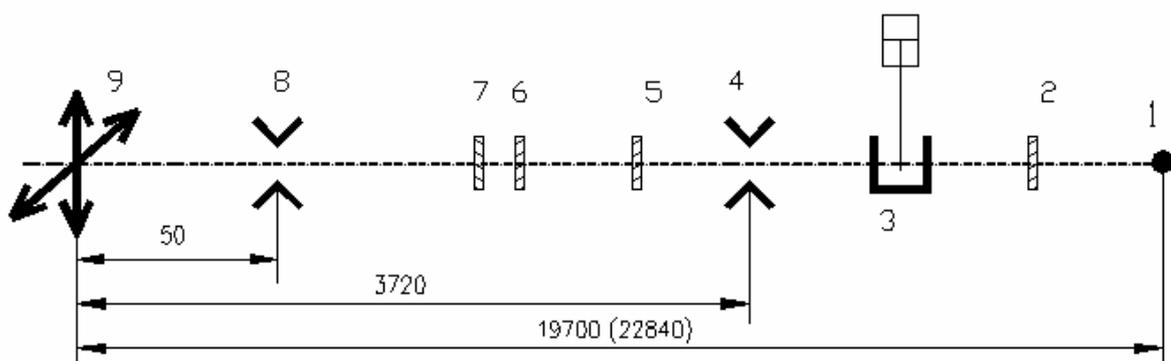
## 2.2. LIGA-технология и глубокая рентгеновская литография.

### Назначение станции:

- рентгеновская литография в толстых резистивных слоях для изготовления микроструктур, в т.ч. рентгеношаблонов;
- экспонирование интенсивным пучком СИ образцов большой площади для методических исследований модификации веществ.

**Статистика работы станции в 2005 году:** отработано с использованием СИ 27 смен, 107 часов пучкового времени.

### Схема и основные технические характеристики станции.



**Рис. 7.** Схема станции LIGA-технологии и глубокой рентгеновской литографии.

- |  |  |
|--|--|
| 1. источник СИ (3-полюсный вигглер или 11-полюсная змейка) | 5. фольга Be 100 мкм *                   |
| 2. фольга Be 100 мкм *                                     | 6. фольга Be 300 мкм *                   |
| 3. два радиационных затвора                                | 7. вставной спектральный фильтр (фольги) |
| 4. блок предварительной коллимации                         | 8. формирователь микропучка              |
|  | 9. XY-сканер                             |

\* бериллиевые фольги могут быть заменены на более тонкие для вывода мягкой части спектра СИ.

В соответствии с решаемыми задачами реализуется два режима экспонирования. Первый – "рентгеновский литограф" – рисование топологии структуры (например, рентгеношаблона), для этого подложка с резистом перемещается на XY-микроподвижке (шаг 0.1-1 мкм) под микропучком СИ. Второй – теньевое экспонирование образцов большой площади широким пучком СИ через готовый рентгеношаблон. Для этого подложка с резистом и шаблон сканируются поперёк пучка СИ в вертикальном направлении с большой скоростью.

Отрабатывается режим "динамической рентгенолитографии" – облучение через неподвижный шаблон подложки с резистом, движущейся по определенному закону, в результате под простым шаблоном получают структуры более сложной формы, например зонные пластины, полосковые структуры и т.п.

Канал транспортировки СИ длиной 15м, диаметром 60-100 мм, отделён от накопителя Be-фольгой (100мкм), от экспериментальной станции Be-фольгами (100мкм+300мкм), в канале поддерживается вакуум на уровне  $10^{-5}$  Па, в канале установлены монитор положения пучка, блок диафрагм.

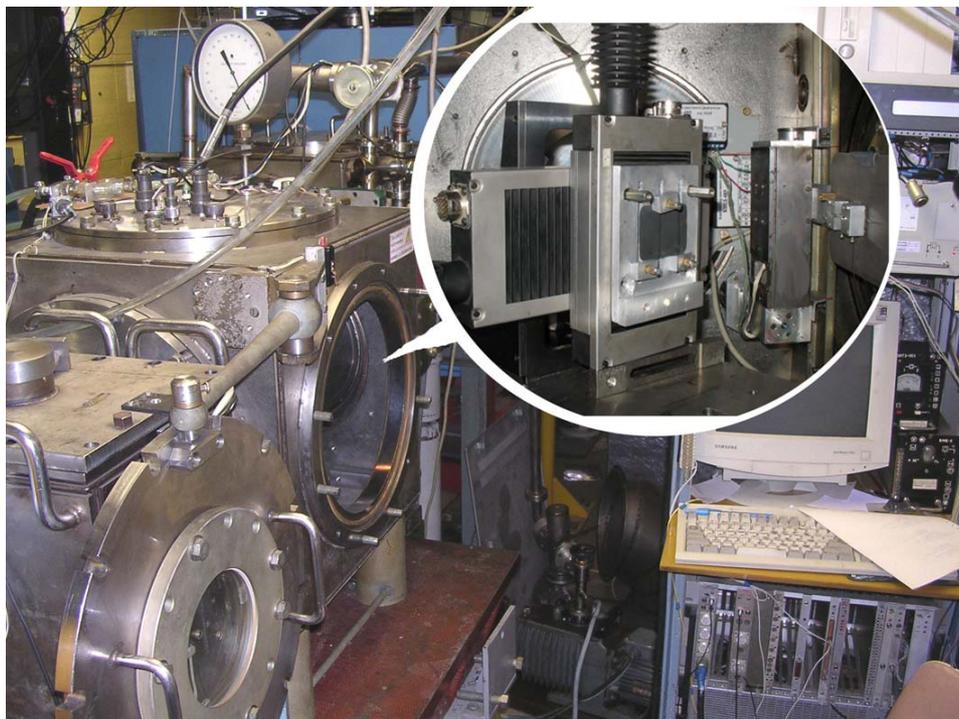
**Таблица 2**

Основные технические параметры станции.

1)	Диапазон энергии СИ зависит от выбора источника СИ и набора фольг 11-полюсная змейка 3- полюсный вигглер	1 – 11 кэВ 3 – 40 кэВ
2)	Установленные в канале СИ фольги	Be (100+100+300) мкм Al (10, 50, 100... мкм) – сменные фольги
3)	Размер входного пучка (X*Y) без коллимации	72мм × 12мм
4)	Размер области экспонирования при сканировании	до 72мм × 100 мм
5)	Размер микропучка для рентгеновского литографа	100x100 мкм, определяется входным коллиматором.
6)	Мощность пучка в медианой плоскости на входе в камеру экспонирования	без фольг – 4.2 Вт/см <sup>2</sup> с фольгой Be (500 мкм) – 3.1 Вт/см <sup>2</sup> с фольгами Be (500 мкм) и Al (100 мкм) – 1.6 Вт/см <sup>2</sup>
7)	Режимы экспонирования	1. рисование микропучком СИ (рентгенолитограф) 2. теневое экспонирование со сканированием
8)	Характеристики объектов исследования	полимерные резисты и другие твердые рентгеночувствительные вещества
9)	Газовая среда в камере экспонирования	форвакуум, гелий (0.2 Атм.) с обдувом
<i>Дополнительные параметры, не реализованные в настоящее время</i>		
10)	Монитор положения пучка	Проволочный, по фототоку. Точность определения положения пучка при экспонировании 70 мкм.

На LIGA-станцию накопителя ВЭПП-3 могут выводиться пучки СИ как из 3-х полюсного вигглера с магнитным полем 2 Тл, так и из 11-и полюсного вигглера с полем, варьируемым от 0 до 1 Тл. Это позволяет расширить волновой диапазон используемого СИ в соответствии с требованиями конкретных прикладных задач. Спектральная фильтрация СИ осуществляется сменными фольгами (Be, Al и др.)

Подготовка образцов, нанесение и травление резистов, гальванопластика проводятся в специально подготовленном помещении «Чистая комната», оснащённом специализированным оборудованием: центрифуга, вакуумный сушильный шкаф, микроскопы, вытяжные шкафы, система обеспыливания атмосферы.



**Рис. 8.** Общий вид станции "LIGA".

Технологическое помещение



Для выполнения технологических процедур подготовки, обработки и предварительного исследования образцов, создана специализированная «чистая комната»

**Рис. 9.** «Чистая комната».

**Список проведенных работ и поддержанных проектов в 2005 году.**

Методические исследования рентгенорезистов ПММА и SU-8 и режимов для рентгенолитографии (ИЯФ СО РАН).

Проект РФФИ № 03-02-16718 «Исследования возможности развития LIGA-метода для создания микроструктур с заданным профилем» (2003-2005 гг.).

Молодёжный проект СО РАН – 2006 «Разработка квазиоптических селективных элементов на основе металлических сеточных структур для частотной и пространственной селекции терагерцового излучения» (2006-2007 гг.).

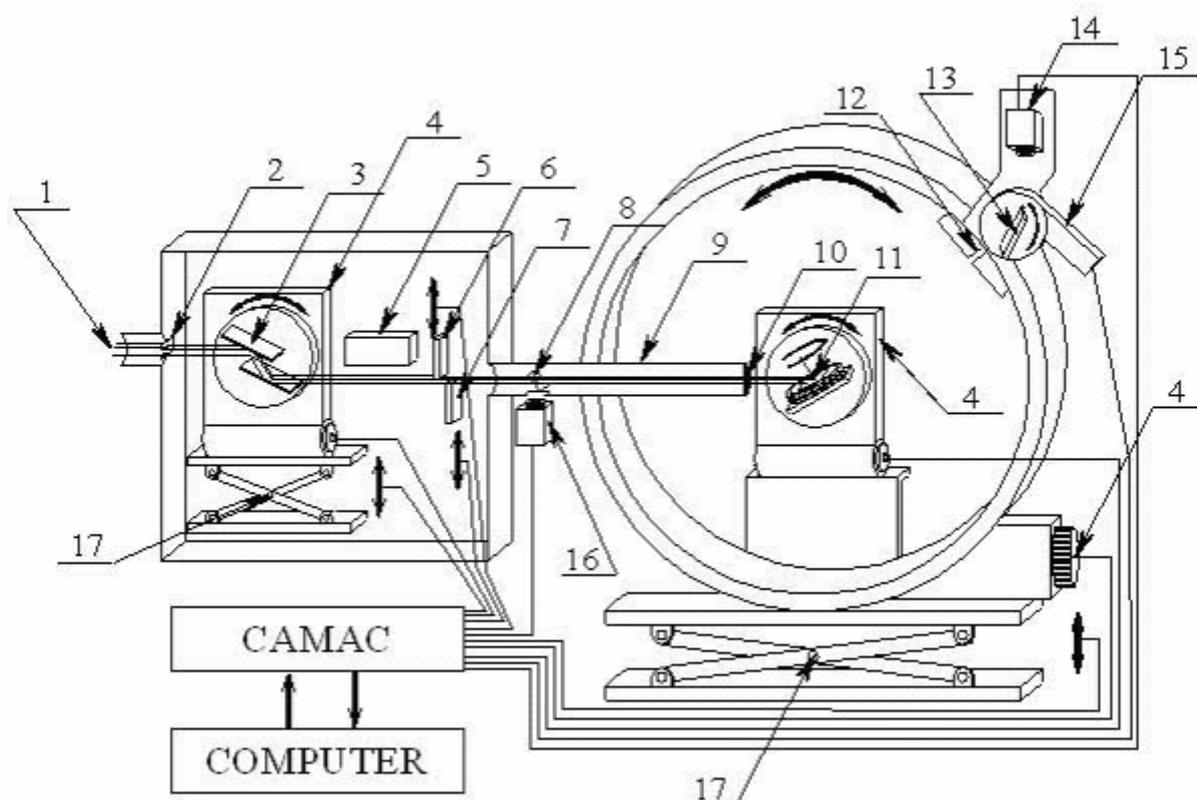
Междисциплинарный проект СО РАН «Лучевые технологии синтеза микроструктурированных компонентов для офтальмологии, микрооптики и микрофотоэлектроники с применением новых оптических гибридных материалов» (2006-2008 гг.).

### 2.3. Аномальное рассеяние и прецизионная дифрактометрия.

#### Назначение станции:

Станция «Аномальное рассеяние» предназначена для прецизионных исследований структуры поликристаллических материалов методами рентгеновской дифрактометрии.

#### Схема станции



**Рис. 10.** Схема станции «Аномальное рассеяние». 1 – «белый» пучок СИ; 2 – входные щели монохроматора; 3 – кристалл-монохроматор Si(111); 4 – шаговые двигатели гониометров монохроматора и детектора; 5 – ловушка прямого пучка (Ta); 6, 7 – входные щели дифрактометра; 8 – рассеиватель; 9 – фрагмент вакуумного канала; 10 – выходное окно монохроматора (Be); 11 – образец; 12 – фоновая щель; 13 – кристалл-анализатор Ge(111); 14 – детектор; 15 – шаговый двигатель анализатора; 16 – монитор входной интенсивности; 17 – вертикальная подвижка.



**Рис. 11.** Общий вид станции «Аномальное рассеяние».

### **Статистика использования смен на станции в 2005 году:**

Заявлено часов	2009,0
Отработано часов	1198,2
Заявлено смен	161,4
Отработано смен	119,5
Эффективность по часам/по сменам	59% / 73%

### **Краткие аннотации работ, выполненных на станции в 2005 году.**

**Исследование структуры мезоструктурированных силикатных материалов и их производных** (Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, Институт химии и химической технологии СО РАН, г. Красноярск). Мезоструктурированные материалы демонстрируют упорядочение структурных единиц – мезопор нанометрового диапазона при отсутствии дальнего порядка на атомном уровне в силикатной матрице. Такие материалы являются перспективными с точки зрения адсорбции, катализа, микроэлектроники, оптики и других областей науки и технологии. Проведены исследования образцов мезоструктурированных силикатов различного генезиса, в том числе образцов, синтезированных с использованием смеси ионогенных и неионогенных поверхностно-активных веществ (ПАВ) в различных соотношениях для контроля диаметра мезопор на этапе синтеза материала. Результаты работы по синтезу Ti-содержащего катализатора на основе мезоструктурированного материала, полученного с использованием смеси ПАВ, опубликованы. Исследованы также образцы с post-synthesis нанесением гетерополикислот в мезопоры силиката.

**Исследование структуры и субструктурных характеристик катализаторов глубокого окисления углеводородов** (Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, Институт нефтехимического синтеза им. Топчиева, г. Москва). Проведено исследование фазового состава и субструктурных характеристик образцов  $\text{CeO}_2$ , полученных методом самораспространяющегося поверхностного термосинтеза из церийаммонийнитрата  $(\text{NH}_4)_2\text{Ce}(\text{NO}_3)_6 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , нанесенного на стеклоткань. Показано, что в образце практически отсутствуют микронапряжения и дефекты упаковки, уширения дифракционных линий вызваны размерами ОКР частиц  $\text{CeO}_2$ , которые не превышают 5 нм.

**Исследование фазового состава катализаторов синтеза углеродных нановолокон** (Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН). Углеродные нановолокна используются в качестве носителей металлических катализаторов, применяемых в топлив-

ных элементах. Проведено исследование серии образцов Ni-Cu-Al катализаторов синтеза каталитического волокнистого углерода (КВУ): исходный катализатор, после 15, 30, 60 и 1200 мин реакции. Состав исходного катализатора по условиям синтеза: Ni – 65%, Cu – 25%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 10%. Положения рефлексов металлов в исходном образце отличаются от положений рефлексов чистых металлов. Это свидетельствует о частичном растворении металлов друг в друге. Количество никеля, растворённого в меди, оценивается на уровне нескольких процентов (<5%), количество меди, растворённой в никеле ~25%. Характерной особенностью исследуемой системы является неоднородное изменение параметров решётки катализатора с увеличением времени реакции и количества наработанного КВУ.

**Исследование фазового состава тонких плёнок** (Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН). Проведены исследования плёнок, полученных плазмохимическим и термическим разложением легколетучих веществ. Были изучены тонкие плёнки карбонитридов кремния и бора, нанесённые на монокристаллические подложки Si(100), тонкие плёнки меди и двухслойные плёнки Cu/Ni, выращенные на ситале. Для исследования образцов были применены две схемы регистрации дифракционных картин: 1)  $\Theta$ - $2\Theta$  сканирование (схема Брэгга – Брентано) использовалась для регистрации рефлексов от ориентированных кристаллов и от поликристаллической, неориентированной фазы плёнки, если образец достаточно толстый; 2)  $2\Theta$  сканирование (схема со скользящим углом падения первичного пучка относительно поверхности образца) применялась для получения дифракционной картины только от поликристаллической, неориентированной фазы плёнки.

Плёнки карбонитрида бора BC<sub>x</sub>N<sub>y</sub> были синтезированы плазмохимическим и термическим разложением смеси комплекса триметиламинборана N(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>:BH<sub>3</sub> (ТМАБ) с аммиаком или гелием в температурном интервале 673 - 1073 К. Структура и фазовый состав этих пленок зависят от условий синтеза, таким образом можно получать пленки BC<sub>x</sub>N<sub>y</sub> различного химического и фазового состава: от смеси гексагональных B<sub>4</sub>C и BN и неизвестной фазы до почти чистого гексагонального нитрида бора. Последнее происходит при увеличении концентрации аммиака в исходной газовой смеси, в этом случае на рентгенограмме проявляются пики в основном гексагонального нитрида бора.

Плёнки карбонитрида кремния были синтезированы плазмохимическим разложением (PECVD) при давлении  $6 \times 10^{-2}$  Торр и в температурном интервале 473-1173К с использованием смеси гелия, аммиака и гексаметилдисилазана (ГМДС) как летучего одномолекулярного вещества – исходника. Рентгенофазовый анализ показал, что дифрактограммы пленок SiC<sub>x</sub>N<sub>y</sub>, выращенные при различных условиях синтеза, содержат пики которые можно отнести только к единственной фазе, фазе  $\alpha$ -Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> (рис.4), за исключением не идентифицированных пиков, проявляющихся в малых углах, которые не возможно отнести к пикам известных соединений системы Si-C-N.

Тонкие плёнки меди и двухслойные плёнки Cu/Ni на ситале были синтезированы термическим разложением комплексного соединения *бис*-дипивалоилметаната меди или *бис*-дипивалоилметаната никеля в атмосфере водорода. Рентгенофазовым анализом этих плёнок установлено, что в плёнках меди не образуется каких-либо дополнительных фаз; в двухслойных плёнках Cu/Ni не образуется твёрдого раствора Cu + Ni, каждая плёнка существует отдельно от другой.

**Исследование фазового состава поверхностных слоёв сталей до и после нанесения покрытий** (Новосибирский государственный технический университет). Были выполнены съёмки около 20 образцов, представляющих собой покрытия, спеченные на стальной основе. В качестве материала покрытия использовались порошковые твёрдосплавные смеси ВК6 (94% WC, 6% Co по массе) и Т15К6 (79% WC, 15% TiC, 6% Co по массе). В качестве основы использовались образцы стали 45 без предварительной химико-термической обработки и подвергнутые предварительному борированию или цемен-

тации. Также проведены съёмки 4 образцов стали У8, микролигированной Ti и Nb, после вневакуумной электронно-лучевой обработки. Исследования дифракционных картин, снятых с поверхности образцов, проводились с целью анализа изменений фазового состава материала.

**Краткая аннотация основных полученных результатов:**

1. На основе рентгеноструктурного анализа было подтверждено образование хрупкой фазы  $M_6C$  при спекании WC-Co порошковой смеси на поверхности стальной основы.
2. Установлено, что при определенных режимах борирования происходит образование боридов железа в поверхностном слое стальной основы и снижение объёмной доли хрупкой фазы в материале покрытия.
3. Установлено и подтверждено металлографическим методом, что с увеличением времени цементации основного металла происходит снижение объёмной доли хрупкой фазы.

## **2.4. Рентгенофлуоресцентный элементный анализ.**

### **Изучение проблем распределения макро и микроэлементов в разных отделах миокарда и магистральных сосудов у человека.**

Работа ведётся на основании договора о научном сотрудничестве с Государственным учреждением «Новосибирский научно-исследовательский институт патологии кровообращения имени ак. Е.Н. Мешалкина Министерства здравоохранения Российской Федерации».

В случае инфаркта наблюдаются чрезвычайно высокие концентрации Zn и Ni (для всех исследуемых пациентов), что резко отличается от картины, полученной для здоровых людей.

В ходе исследования определялся элементный состав следующих зон ткани миокарда исследуемых пациентов (ишемическая болезнь, инфаркт миокарда): левый и правый желудочки сердца, левое и правое предсердия, зона инфаркта, зона на периферии очага инфаркта и зона рубца. Данные проведённых анализов показали, что существует корреляция между содержанием Zn и Ni в миокарде как больных, так и здоровых людей. В случае возникновения инфаркта концентрации указанных элементов повышаются на несколько порядков по сравнению со здоровыми людьми. Такая картина наблюдается для всех анализируемых участков ткани миокарда пациентов, тогда как у здоровых людей уровни содержания Ni и Zn значительно ниже. Для больных людей величина концентрации Zn достигает 1.4 % масс, а Ni - 0.0017 %. Эти элементы могут быть маркерами определённых физиологических процессов. По данной тематике было проанализировано в 2005 г. 250 образцов тканей сердца и было получено около 1200 рентгенофлуоресцентных спектров.

### **Работа с материалом по археологических раскопкам. Алтай, Укок, Пазырыкская культура. (Институт археологии и этнографии СО РАН).**

Продолжается работа по данной тематике с археологическим материалом. Это в основном анализ растений из погребений Пазырыкской культуры. Анализ конопли из погребения подтвердил ранее выдвинутую гипотезу о переходе меди из бронзовой курильницы в семя конопли, меди в ней (конопле) по данным наших исследований оказалось более 2 % .

### **Высокоразрешающая реконструкция климата Сибирского региона последнего тысячелетия по летописям горных озёр.**

Грант РФФИ: №03-05-64949-а «Геохимический отклик систем озёрной седиментации на быстропротекающие изменения климата в Центральной Азии».

Грант РФФИ: №05-05-97224-р байкал а «Палеоклимат периферии байкальской природной территории в период постледниковья»

Грант РФФИ: 05-05-97229-р\_байкал\_а «Современное осадконакопление в озере Байкал как основа высокоразрешающей реконструкции климата последнего тысячелетия»

**Цель работы:** Разработка методики микроанализа и сканирующего РФА геологических образцов. Изучение распределения микроэлементов в осадках горных озёр для проведения палеоклиматических реконструкций.

**Содержание работы:** На энергиях 17, 25 и 42 кэВ сканированы керны донных осадков озёр Забайкальской природной территории, южной части оз. Байкал, глубоководной части оз. Телецкое, оз. Хотон-нур (Западная Монголия). Методические работы проводились с использованием шлифов донных осадков, осадков импрегнированных эпоксидной смолой, а также образцов алмазов, содержащих микровключения. Проведены методические работы по оценке воспроизводимости метода и пределов обнаружения на стандартных образцах состава горных пород.

**Результаты:** Получены временные ряды содержаний 25-30 породообразующих и микроэлементов с разрешением 0.1 – 1 мм. Количество условных образцов (спектров) ~ 45 000, количество элементопределений ~ 900 000. Получены метрологические характеристики методики сканирующего РФА СИ.

Пример полученных результатов. Получены вариации нормированных (от 0 до 1) величин XRD (рентгеновской плотности) и содержания Вг в годовых слоях (варвах) образца донных осадков. Шаг сканирования 100 мкм. Видны детали внутреннего (сезонного) устройства годовых слоёв. Светлый (весенне-летний) слой характеризуется уменьшением плотности – по мере выпадения более плотных крупноразмерных частиц. Минимум плотности приходится на осенний период – выпадение глины и органики, накопившейся за лето. В зимний период происходит выпадение глинистой фракции, уплотнение и ранний диагенез осадка. Содержание брома отражает максимум выпадения органики, приходится на осенний период и может служить индикатором биопродуктивности озера, следовательно, отражает летние температуры. Диапазон концентраций брома от <1 до 5 г/т. На каждый слой приходится порядка 15 точек. Внутренний разброс (ошибка определения) не мешает выявлению чётких закономерностей. Время измерения на точку 20 сек. Время сканирования представленного на картинке диапазона длиной 8 мм составляет 30 мин. Одновременно определялись XRD, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ag, Sn, Sb, I, Ba, La, Ce, Th, U. Проводятся обработка и анализ полученных данных.

#### **Анализ торфяных разрезов болот Западной Сибири.**

Болота Западной Сибири являются удобным объектом для изучения динамики поступления минерального вещества на поверхность из атмосферы. Особый интерес представляют верховые «выпуклые» болота, на которых нарастание биологической массы происходит, и происходило, в отрыве от притока подземных вод, и поэтому считается, что микроэлементный состав стратифицированных (во временной шкале) горизонтов торфяной залежи определяется минерализацией атмосферной пыли (аэрозоля), дождевой и снеговой воды.

Ранее нами послойно был изучен микроэлементный состав метрового разреза торфа из верхового болота, с выделением слоёв XX века и предшествующих по времени за последнее тысячелетие. Оценка потоков 26 химических элементов получена комплексом аналитических методов, включая РФА СИ. Полученные скорости потоков совпадают с опубликованными для Байкальского региона. Выделена так называемая группа «летучих» элементов Cd, Hg, Sb, Pb, Zn, As, Br, Cu, которыми обогащена атмосферная пыль над Западной Сибирью в течение всего последнего тысячелетия.

В настоящее время РФА СИ используется в изучении микроэлементного состава горизонтов торфяников в трёх точках, удалённых друг от друга на 200 – 300 км. Мощность торфяников 2.5, 5.3 и 4.4 м, возраст 4000, 7000 и 11000 лет, соответственно. Впервые выполнено сканирование всего 5метрового керна торфа с шагом 1мм, соответст-

вующим 1-2 годовому шагу. В записанных спектрах при начальной энергии 26 keV статистически значимые сигналы получены для Fe, Cu, Zn, Br, Sr, Zr по всему разрезу. В двух интервалах, в верхнем (возраста 500 лет) и нижнем (возраста 6500 -7000 лет), проведено сканирование с начальной энергией 42 кэВ, получены сигналы от К-серий J, Ba, Sn, Sb,(Cd). Ожидается, что на основе временного распределения микроэлементов, представляющих различные по биохимическим свойствам группы химических элементов, удастся изучить динамику поступления минерального вещества на поверхность в период всего Голоцена. Проводится анализ полученных данных.

#### **Применение рентгенофлуоресцентного анализа на синхротронном излучении при эколого-геохимических исследованиях.**

РФА-СИ применялся для элементного анализа тканей растений: хвои лиственницы (*Larix sibirica* Mayr), листьев карликовой березы (*Betula divaricata* Ledeb.), листьев ивы корзиночной (*Salix viminalis* L.), хвои кедрового стланика (*Pinus pumila*), – в целях изучения влияния атмосферного загрязнения от объектов угольной и топливно-энергетической промышленности в районе Нерюнгри (Якутия), от Оловокомбината в Новосибирске (2005 г.), а также в целях изучения геохимического фона золоторудного района Центрального Алдана (2004 г.) и золотоурановорудного района Эльконского горста (Якутия, 2005 г.).

В результате применения метода РФА-СИ:

- установлены природные и техногенные аномалии на золоторудном поле (Якутия, Алдан);
- определены шлейфы атмосферного загрязнения у Оловокомбината г. Новосибирска, в окрестностях г. Нерюнгри с созданием математической модели техногенного загрязнения;
- проведены биогеохимические исследования концентраций элементов в тканях растительности Якутии и г. Новосибирска с определением фоновых и аномальных уровней;
- оценено техногенное загрязнение естественными радионуклидами в сопряженных экосистемах у отвалов горных выработок на золотоурановом рудном районе Эльконского горста (Якутия), изучено поведение урана в гипергенных условиях горнотаёжных ландшафтов Якутии.

#### **Исследование осадочных архивов на континенте для климато-стратиграфических корреляций и палеоландшафтных реконструкций.**

Были проведены измерения многоэлементного состава отложений озера Хубсугул (Монголия), озера Керек (Западная Сибирь) и солёного озера Шира (Хакасия). Режим измерений – сканирование, шаг 100-, 200- и 1000 мкм, с такой же апертурой. Диапазон элементов – от К до Ва, с конкретным перечнем, зависящим от типа осадка, обычно с панорамой на ок. 10-15 элементов.

Для Хубсугула эта серия измерений является продолжением эксперимента по сплошному сканированию осадочной пятидесятиметровой колонны с разрешением 1 мм. Данное разрешение соответствует временному интервалу несколько десятков лет. К настоящему времени изучено свыше 40 метров керна, т.е. почти миллион лет летописи (в 2005 году проведено свыше 20 000 измерений). Результаты по ряду элементов позволяют связать наблюдаемые вариации концентраций с изменением биогенной жизни озера, а также с изменениями интенсивности выветривания в водосборе и потока аутигенной минерализации из озера на дно как следствие изменений условий среды и климата этого центральноконтинентального региона. Исследование позволило идентифицировать следы очень значительной реорганизации экосистемы озера Хубсугул на рубеже 420-470 тыс. лет. Свидетельств такого крупного масштаба и значительности данного события для Центральной Азии ранее до этого получено не было. Данная реорганизация на Хубсугуле характеризовалась появлением ритмических осцилляций позже этого рубежа как

для биогенной составляющей осадка (реконструированной по распределению Br), так и в маркёрах режима водообмена озера с водосбором (по избытку/дефициту растворимого Са относительно кластической составляющей).

Изучались также осадки нескольких колонок из бессточного солёного озера Ши́ра (Хакасия). Природный баланс воды в нём обеспечивается речным и дождевым питанием, расходом на испарение, а также подземным гидрогеологическим режимом. Климатические условия региона – аридные, резко континентальные. Изменения уровня бессточных озёр обычно весьма контрастно отражают палеовариации температуры и влажности климата в связи с изменениями испарения и атмосферных осадков. Сопутствующие перестройки в биопродуктивности озера и минералогии, и геохимии осадконакопления обуславливают чёткий климатический сигнал в этих осадках.

Найдено, что в осадках оз. Ши́ра чётко выражена слоистость разного порядка: от долей миллиметра до нескольких сантиметров. После измерения в осадках активности Cs-137 и Pb-210 (на Ge-ППД гамма-спектрометрической установке ОИГГМ СО РАН) была независимо оценена скорость накопления в верхнем слое осадков. Она составила величину 1.2-1.5 мм/год. Т.о., визуально выделяемые слои могут представлять чередование годовых слоёв осадконакопления («варв»); их происхождение, очевидно, обязано смене межсезонной активности зоопланктона и сноса терригенного материала в озеро.

Ненарушенные фрагменты осадочных кернов были просканированы под коллимированным пучком СИ (0.1 и 1.0 мм) с измерением флуоресценции элементов К, Ti, Са, Mn, Fe, Cu, Zn, Ga, As, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Sb, I, Ba, La, Се. Структуру варв по следам измерения геохимии однозначно идентифицировать пока не удалось, однако макроизменения на более долгой шкале очень контрастны. Данные изменения запечатлены в осадках, по-видимому, повсюду по площади озера (детально изучено 4 колонки по трансекту север-юг, проведено свыше 15 000 измерений) и позволяют проводить корреляции разрезов по геохимии

#### **Изучение состава изделий древнего металлургического производства из археологических памятников Восточной Сибири.**

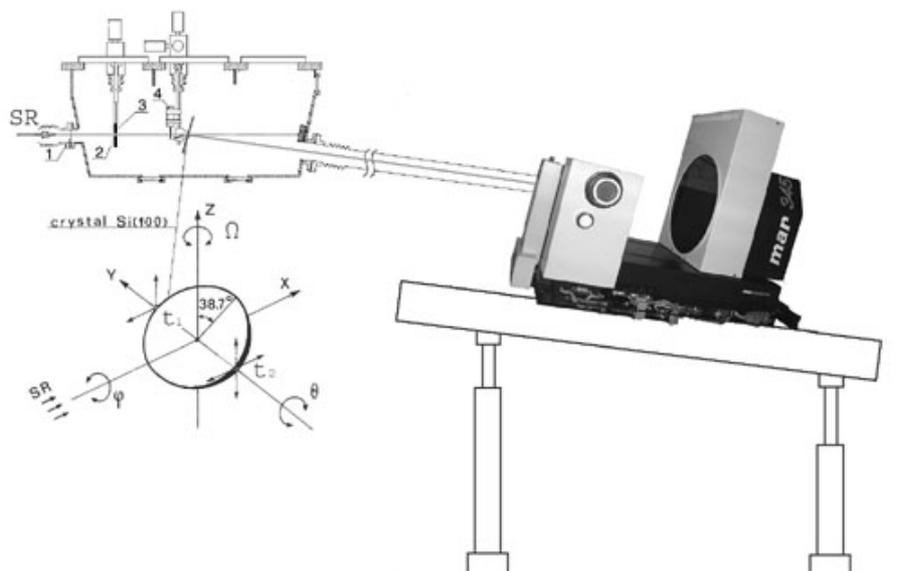
Проанализирован состав 60-ти медно-бронзовых археологических находок из стоянок древнего человека Прибайкалья. Целью работы – изучить и систематизировать химический состав медно-бронзовых сплавов, из которых они были изготовлены, для реконструкции последовательности развития древнего металлургического производства Восточной Сибири. В сплавах количественно идентифицированы следующие макрокомпоненты, в разных соотношениях: Cu, Zn, As, Sb, Sn, Ag, Pb, а также ряд микроэлементов. Полученные данные позволили археологам из Иркутского технического университета (А.В. Харинский, Г.В. Туркин) установить, что все предметы, по классификации, являются бронзовыми, различной технологии приготовления; чисто медных предметов среди них нет. Данные позволяют установить источники металлургических технологий и по-новому взглянуть на периодизацию и хронологию истории медного и бронзового веков Прибайкалья. Достоинством метода РФА-СИ здесь явилась неdestructивная процедура анализа, позволяющая сохранить уникальные находки.

## **2.5. Дифрактометрия при энергии квантов 33.7 кэВ.**

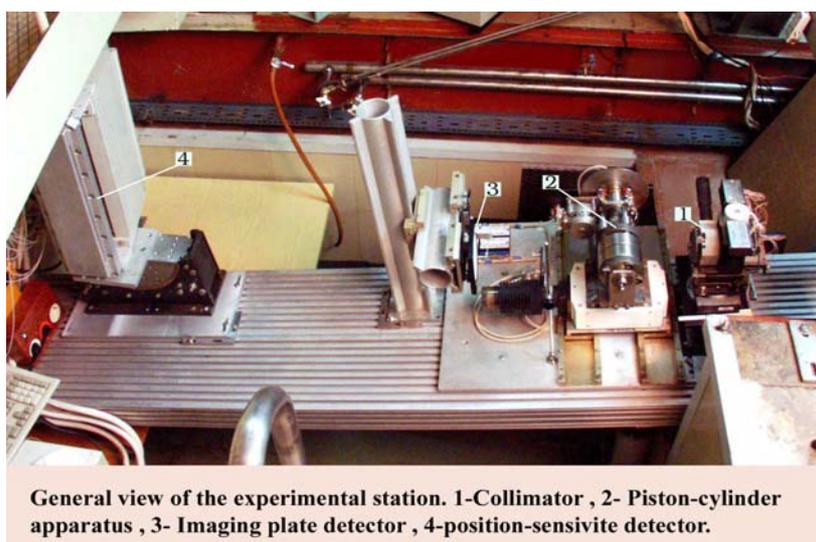
**Назначение станции** - исследование структуры поликристаллических материалов при высоких давлениях до 6.5 кбар (в аппарате “цилиндр-поршень”) и до 100 кбар (в алмазных наковальнях), или при высоких (до 1200 °С), либо низких (от –190°С) температурах методами рентгендифракционного анализа.

**Статистика использования станции в 2005 году.** Заказано 1689 часов работы с пучком. Использовано 1251.5 часов пучкового времени. Эффективность работы составила 74%. Снято 3027 файлов.

**Схема и общий вид станции.**



**Рис.12.** Схема станции при работе с детектором mar-345.

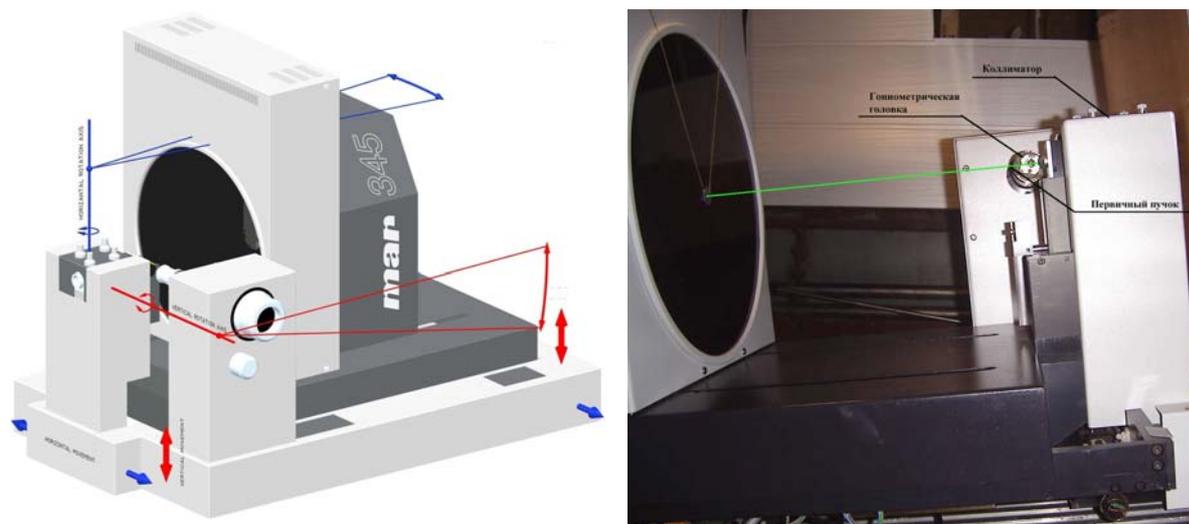


**Рис.13.** Общий вид станции при работе без системы mar-345 (с заменяемой image plate или ЦРД в качестве одного из детекторов).  
1 – коллиматор, 2 – аппарат «цилиндр-поршень» для изучения синтеза клатратов, 3 – image plate, 4 – однокоординатный детектор.

**Монохроматор.** Использован однокристалльный кремниевый (111) монохроматор по схеме Лауэ. Для снижения теплового воздействия на кристалл "белого" синхротронного излучения перед кристаллом установлен алюминиевый attenuator толщиной 1 мм. Для лучшего охлаждения кристалла корпус монохроматора заполнен гелием под давлением 0.3 атм.

**Детектор.** В марте 2004 года на станции 4-го канала СИ был установлена детектирующая система mar-345 фирмы Marresearch на базе image plate с системой считывания и стирания дифрактограмм на месте. Использование данной системы позволило резко увеличить количество экспериментов выполняемых на станции.

**Высокотемпературная камера.** В 2005 году была разработана, изготовлена и установлена на станцию высокотемпературная камера, позволяющая проводить дифракционные исследования при температурах до 1200 градусов на воздухе.



**Рис.14.** Детектирующая система mar-345, основанная на использовании image plate.

**Таблица 3. Основные технические параметры станции.**

1.	Энергия рентгеновских квантов	33.7 кэВ
2.	Рентгенооптическая схема	Однокристалльный монохроматор по схеме Лауэ, кремний 111, $\Delta\lambda/\lambda=3\times 10^{-3}$ , Поток $1.8\times 10^8$ фот/сек/мм (гориз.)
3.	Размер выходного пучка	От $0.1\times 0.1$ мм до $0.8\times 3$ мм
4.	Время набора дифрактограммы	от 1 с до нескольких часов
5.	Время считывания дифрактограммы	не более 150 с
6.	Монитор положения пучка	Щелевой коллиматор, люминофор + фотодиод
7.	Детектор	mar-345 фирмы Marresearch на базе image plate
8.	Разрешение детектора mar-345	100 или 150 мкм (устанавливается программно); детектор позволяет регистрировать дифракционные картины диаметром до 345 мм; максимальное расстояние от образца до детектора 426.4 мм.
9.	Другая аппаратура	Камеры высокого давления типа “цилиндр-поршень” и с алмазными наковальнями. Образец также может быть установлен на гониометрическую головку и отъюстирован при помощи встроенной телевизионной камеры.
10.	Характеристики объектов исследования	Твёрдые вещества, жидкости, газовые гидраты. Масса пробы – от 1 мг до нескольких грамм.

### **Краткие аннотации работ, выполненных в 2005 году .**

**Структурные исследования клатратных гидратов высокого давления.** (ИНХ СО РАН). Данная тема представляет интерес с точки зрения кристаллографии и физики высоких давлений, обнаруженные типы структур могут представлять интерес как топологические модели для каркасных структур на основе кремния, германия,  $\text{SiO}_2$  и др. Изучение свойств и условий образования крайне важно для решения проблем экологии и энергетики будущего. По некоторым данным большая часть углеводородного сырья на планете находится под дном океанов и морей в виде клатратных гидратов. В данной работе удалось определить структуру существующего при высоком давлении гидрата ацетона. Структура, как оказалось, весьма близка к исследованной ранее структуре гидрата тетрагидрофурана, однако уже сейчас можно сказать, что на примере данного гидрата мы впервые столкнулись с новым явлением, не характерным для ГГ обычного давления – понижением симметрии хозяйского каркаса вследствие упорядочения гостевой подсистемы (до сих пор были известны только случаи частичного упорядочения в гостевой подсистеме). Кроме того, проведенное нами исследование показало практическую возможность получения однофазных закаленных кристаллических образцов ГГВД, что открывает возможность для дальнейшего развития исследований подобных соединений, трудновыполнимых *in situ*.

### **Рентгенографическое изучение закаленного гидрата аргона высокого давления.**

Настоящая работа является развитием проводившихся ранее структурных исследований газовых гидратов высокого давления и посвящена абсолютно не затронутой в мировой литературе области – изучению поведения закаленных газовых гидратов высокого давления. В работе методом рентгеновской дифракции проведено изучение свойств синтезированных при высоких давлениях гидрата аргона (структура H) и гидрата метана кубической структуры I. Впервые обнаружено, что газовые гидраты высокого давления способны закаливаться, т.е. могут изучаться при атмосферном давлении и низких температурах. На примере гидрата аргона структуры H обнаружено, что для гидратов высокого давления может наблюдаться явление самоконсервации. Исследованы изменения в порошковой рентгенограмме обоих гидратов в зависимости от температуры, показано, что при температурах около 200 К весьма вероятно появление в этих системах заметных количеств льда Ic. Изученные для обоих гидратов кривые термического расширения оказались близкими к таковым для других газовых гидратов.

**Изучение поведения микропористых каркасных алюмосиликатов (цеолитов) при сжатии в различных средах** (Институт минералогии и петрографии СО РАН). Основным направлением работ, проводимых ИМП, является экспериментальное изучение структурного механизма адаптации микропористых алюмосиликатов к повышению давления в зависимости от типа их каркаса, внекаркасного водно-катионного комплекса и состава сжимающей среды. Изучение структурного поведения микропористых алюмосиликатов при высоких давлениях важно как для современной трактовки эволюции каркасных минералов в земной коре, так и для развития физикохимии нанопористых соединений, в частности, индуцированных давлением явлений сверхгидратации и аномалии ионной проводимости в цеолитах, необычайно перспективных с точки зрения их технологического применения. В 2005 году исследовалась сжимаемость природного волокнистого цеолита сколецита  $\text{CaAl}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}\times 3\text{H}_2\text{O}$  и широкопористого синтетического цеолита Na-A ( $12\text{NaAlSiO}_4\times 27\text{H}_2\text{O}$ ) в водной среде до 45 кбар с использованием камеры высокого давления.

**Изучение минерального состава почечных камней методами дифракции синхротронного излучения** (ИХТТМ СО РАН, ИК СО РАН). Почечно-каменной болезнью страдают миллионы людей. Знание минерального состава почечного камня позволило бы врачу выбрать правильный (наименее травматичный) метод лечения. Количество минералов входящих в состав почечных камней невелико, поэтому достаточно заре-

гистрировать несколько наиболее сильных линий, чтобы надежно идентифицировать состав камня. Методом дифракции синхротронного излучения исследовался фазовый состав почечных камней, помещённых в специальный объект-фантом, имитирующий человеческое тело. Для этого были взяты куски подкожного свиного жира общей массой ~ 3 кг и свиная почка (общая толщина биологической ткани доходила до 165 мм). Получены удовлетворительного качества дифрактограммы 50 уролитов, в том числе смешанного состава. Во всех случаях минеральный состав надёжно идентифицировался. Расчётная доза при накоплении каждой дифрактограммы не превышала 5 мЗв. Проведенные исследования показали возможность создания диагностической системы для определения минерального состава почечных камней *in vivo*.

**Изучение последовательности фазообразования при химическом взаимодействии металлов, находящихся в твёрдом и жидком состоянии (ИХТТМ СО РАН).** Взаимодействие твёрдых металлов с жидкими имеет место в различных процессах: при спекании с участием жидкой фазы, при пайке, в металлургических процессах, в процессах СВС и других. Систематическое изучение взаимодействия металлов находящихся в твёрдом и жидком состоянии, в основном, проведено для двухкомпонентных металлических систем. Известно, что для взаимодействующих металлических систем, при контакте твёрдого металла с жидким первой формируется фаза с наибольшим содержанием металла, находящегося в жидком состоянии. Исследовалось взаимодействие твёрдых металлов и их сплавов с жидкими эвтектиками с целью выявить взаимное влияния их компонентов на фазовый состав образующихся продуктов, на динамику процесса, на их размерные и морфологические характеристики. Для исследования в качестве твёрдофазного компонента были выбраны твёрдые растворы на основе меди, полученные методом механохимического сплавления, в качестве жидкого компонента – галлий и его эвтектические сплавы с индием и оловом. Проведенные исследования показали, что при химическом взаимодействии твёрдых металлических сплавов с жидкими эвтектиками первым образуется интерметаллид  $\text{CuGa}_2$ . По прошествии некоторого времени, характерного для различных систем, начинается кристаллизация освобождающихся элементов. Фаза, образующаяся из освобождающихся элементов, имеет более крупный размер зерна, а в некоторых системах кристаллизуется в виде монокристалла. Если в системе освобождающихся элементов имеются интерметаллические соединения, то будет кристаллизоваться интерметаллид с максимальным содержанием элемента находящегося в жидкой фазе. Если в жидкой фазе находятся оба освобождающихся элемента, то в результате они образуют два интерметаллида.

**Тройные теллуриды свинца.** С помощью дифракции синхротронного излучения выполнены структурные исследования тройных и нестехиометрических теллуридов и селенида свинца [ $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$  ( $x=0.29$ ),  $\text{Pb}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$  ( $x=0.05$ ),  $\text{Pb}_{0.45}\text{Te}_{0.55}$ ,  $\text{Pb}_{0.55}\text{Te}_{0.45}$ ,  $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Se}$  ( $x=0.125$ )]. Полученные ранее данные термо-ЭДС при высоком давлении для этих составов свидетельствовали как о сдвиге в давлении фазового перехода, так и о различии в электронной структуре этих тройных соединений, и служили отправной точкой для исследования структурных фазовых превращений. Было установлено, что несмотря на серьёзные различия в составе все соединения испытывают схожие структурные превращения из структуры  $\text{NaCl}$  в промежуточную фазу высокого давления, а затем в  $\text{CsCl}$ . Установлено, что во всех теллуридах свинца реализуется орторомбическая структура  $\text{Pnma}$  (а не  $\text{GeS}$  и  $\text{III}$ , как предполагали ранее). В то время как структурный тип промежуточной фазы высокого давления  $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Se}$  не описывается ни  $\text{GeS}$ , ни  $\text{Pnma}$  решётками, и в настоящее время эта структура уточняется по данным выполненных авторами синхротронных измерений. Сдвиги в давлениях перехода в промежуточную фазу высокого давления, обнаруженные по термоэдс, подтвердились и при исследовании перехода по структурным свойствам. Можно сделать вывод о том, что замещение свинца марганцем или оловом приводит к заметному снижению величины давления фазового перехода. Избыток свинца в кристалле  $\text{PbTe}$  способствует фазовому переходу и также

приводит к снижению величины давления, тогда как избыток теллура сдвигает переход к большим давлениям.

**Органический сверхпроводник  $\Theta$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>CsZn(SCN)<sub>4</sub>.** Впервые выполнено исследование структуры при сверхвысоком давлении в органической сверхпроводящей соли на основе группы “BEDT-TTF”. В измерениях электрофизических свойств под давлением был установлен ряд аномалий, которые предположительно могли быть связаны со структурными переходами. Установлено, что при сдавливании до 5 ГПа объём кристалла сокращается на ~ 40 %. В настоящее время проверяется гипотеза о структурном фазовом переходе в этом кристалле (как типичном представителе семейства “BEDT-TTF”-сверхпроводников). Работы выполнялись при финансовой поддержке гранта РФФИ № 04-02-16178.

**Дифракционные исследования особенностей строения и температурно-временной эволюции многокомпонентных оксидных расплавов (*in situ*) и стёкол.** (Институт минералогии и петрографии СО РАН).

Получение экспериментальных результатов дифракции СИ и их обработка с построением функций радиального распределения (ФРП) электронной плотности в исследованных образцах поможет изучить строение оксидных расплавов, выявить влияние термовременной обработки расплавов на их свойства в твердом состоянии. Работа выполнялась в рамках Гранта РФФИ № 04-05-64438-а и Интеграционного Проекта СО РАН № 155.

Выполнено *in situ* дифракционное исследование расплавов Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и NaNO<sub>3</sub> вблизи температур плавления, при перегреве на 50-100° С и в переохлаждённом состоянии. Построено девять ФРП, характеризующих закономерности изменения межатомных расстояний в этих расплавах. Выявлено определённое смещение дифракционных максимумов и существенное падение их интенсивности в переохлаждённых расплавах, отражающих феномен их предкристаллизационного самоstructuring.

## 2.6. «Дифракционное кино».

**Назначение станции** – исследование фазовых превращений в процессе химических реакций с участием твёрдых тел. Получение как качественных (стадийность фазообразования), так и количественных (кинетика) параметров этих реакций. На установке можно проводить исследования как в области больших (WAXS), так и в области малых углов (SAXS). На станции в 2005 году проводились совместные работы институтов СО РАН – ИНХ, ИХТТМ, ИК, а также ИСМАН (г. Черноголовка). Суммарно исследовано около 60 образцов.

**Таблица 4. Основные технические параметры станции.**

Диапазон энергий	7- 10 кэВ (текущая – 8.3 кэВ)
Рентгенооптическая схема	фокусирующий кристалл - монохроматор
Размер пучка на образце	0.5 × 6 мм
Детекторы	ОД-3, ДЕД-5
Минимальное время кадра	1 мкс (ОД-3), 100 мкс (ДЕД-5)
Угловой диапазон	30 град (ОД-3)



**Рис. 15.** Станция «Дифракционное кино». Вид гониометра с детектором ОД-3.

**Краткие аннотации выполненных работ.**

**Исследование “*in situ*” разложения сложных комплексов благородных металлов.** (ИНХ СО РАН).

Данная работа представляет интерес, поскольку продукт разложения определяется условиями проведения реакции. Образующиеся твёрдые растворы очень сложно, а иногда и невозможно получить из чистых металлов традиционными (сплавление) методами. Установлено, что в зависимости от газовой среды либо сразу образуется твёрдый раствор, либо сначала происходит выделение фаз отдельных металлов, а лишь затем образование твёрдого раствора.

**Исследование разложения окси- и карбоксилатов висмута.** (ИХТТМ СО РАН).

Данные соединения нашли применение в медицинской практике. Поэтому важно знать пути их синтеза, а также фазовые превращения при нагреве. Кроме того, карбоксилаты металлов часто являются исходными для получения чистых металлов или их оксидов.

**Исследование отжига мехактивированных смесей металлов с углеродом.** (ИХТТМ СО РАН).

При мехактивации смеси  $M + C$  (в частности  $M - Ni$ ) происходит образование наночастиц металла, карбидов и твёрдых растворов углерода в металле. В процессе отжига в инертной атмосфере углерод выделяется на поверхности наночастиц в виде графитовой, т.е. кристаллической углеродной шубы.

**Исследование кинетики взаимодействия активированного галлием алюминия с водой и спиртами.** (ИК СО РАН).

Показано, что продуктами этой реакции являются гидроксиды алюминия в основном в форме псевдобембита и водород в случае воды, алкоголяты и водород в случае спиртов.

**Предпринята попытка исследования СВС процессов в системе Al-Ni-Co.** (ИХТТМ СО РАН).

Данная реакция интересна тем, что продуктами являются квазикристаллы – кристаллы с осью пятого порядка. Сложность работы определяется довольно нестабильным режимом горения и морфологическими особенностями как исходных смесей, так и продуктов.

В рамках подготовки к совместному проекту с Национальной АН Белоруссии проведены **первые эксперименты по изучению фазообразования в мехактивированных смесях NiO+Al**. В результате мехактивации мы имеем наноразмерные частицы NiO, покрытые слоем алюминия (т.к. он более пластичен). При реакции с алюминием из оксида никеля образуется никель и оксид алюминия. В дальнейшем никель реагирует с избытком алюминия, давая интерметаллид. В итоге, мы должны получить нанокompозит интерметаллид – оксид алюминия. Целью исследования является установление последовательности фазообразования в режиме горения. (ИХХТМ СО РАН).

**Кроме того, значительная часть времени работы станции посвящена тестированию новых детекторов, изготавливаемых по заказу других организаций.** Так в сентябре 2005 г. была собрана малоугловая установка, изготовленная по заказу ИТЭБ (Пушино). Она включала в себя вакуумируемый объём от образца до детектора с фокусным расстоянием 1.5 м, сам детектор и две подвижки. Проведены эксперименты по изучению поведения мышцы с временным разрешением – 3 мс. После успешного окончания тестовых экспериментов установка была поставлена заказчику на станцию малоуглового рассеяния РНЦ «Курчатовский институт».



**Рис. 16.** Малоугловая установка, изготовленная по заказу ИТЭБ (г. Пушино).

## **2.7. EXAFS-спектроскопия.**

**Исследуемые объекты** – рентгеноаморфные образцы в жидкофазном и твердом состояниях, т.е. образцы, для которых неприемлемы рентгенографические структурные методы. Преимущественная специализация на исследовании высокодисперсных объектов – катализаторов, наноматериалов. Исследуется структура локального окружения атомов избранного химического элемента (координационное число, межатомные расстояния). В зависимости от применяемой методики анализируются: объём, поверхность либо приповерхностные слои. Реализованы методики: «на пропускание», рентгеновской флуоресценции, полного фототока, рентгеностимулированной оптической люминесценции. Разработаны методики подготовки образцов для съёмки реакционно-активных соединений и катализаторов в инертных условиях. Возможно исследование образцов при температурах от 77 до 900 К в условиях заданной атмосферы.

**Решаемые задачи, получаемая информация** – исследуется структура локального окружения атомов избранного химического элемента (координационное число, межатомные расстояния). В зависимости от применяемой методики анализируются: объём, поверхность либо приповерхностные слои.

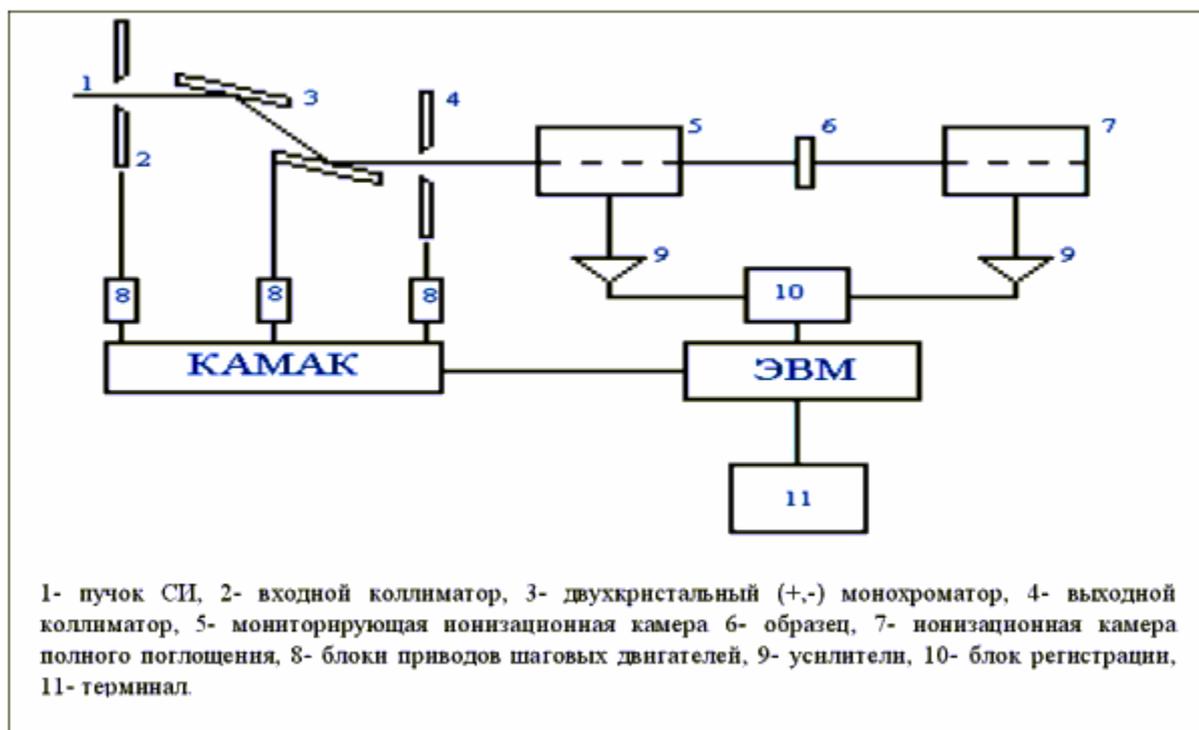


Рис. 17. Схема EXAFS спектрометра в Сибирском центре СИ в режиме на пропускание.

#### Технические характеристики станции:

Исследуемые химические элементы	начиная с Ti
Концентрации изучаемого элемента	0.1-100 масс. %
Область измеряемых межатомных расстояний	1.5-8 Å ( $\pm 2\%$ )
Погрешность определения координационных чисел	$\pm 10-20\%$
Погрешность определения фактора Дебая	$\pm 40\%$

#### Модернизация:

В 2005 была проведена частичная модернизация EXAFS станции:

- 1) переход от устаревшего шагового двигателя на новый гониометр "Newport";
- 2) переход на новую систему автоматизации съемки EXAFS спектров на базе PC (вместо устаревшего "Одрёнка").

#### Список организаций, участвовавших в работах в 2005 году:

Институт катализа СО РАН, Институт неорганической химии СО РАН, Институт физики полупроводников СО РАН, Институт химической кинетики и горения СО РАН, Лимнологический институт СО РАН (Иркутск), Институт угля и углекислоты СО РАН (Кемерово), ИХТТМ СО РАН, РИЦ "Курчатовский институт" (Москва), МГУ (Москва), ИХФ РАН (Москва), ИОНХ РАН (Москва), ИНЭОС РАН (Москва), Институт нефтехимического синтеза РАН (Москва), Институт электрохимии им. А.Н. Фрумкина (Москва), Объединённый институт ядерных исследований (ОИЯИ, Дубна), Институт спектроскопии РАН (Троицк), Физико-технический институт УрО РАН (Ижевск), Ростовский государственный университет, Институт физики твёрдого тела Латвийского университета (Латвия, Рига), Институт физики твёрдого тела и полупроводников (Минск, Белоруссия), ESRF (Grenoble, France), Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla (Spain), Centro Mixto CSIC-Universidad de Sevilla (Spain), Hahn-Meitner-Institut (Berlin, Germany), Forschungszentrum Karlsruhe (Germany), Max-Planck-Institut für Kohlenforschung (Germany),

Institute of chemistry: Humboldt university (Berlin, Germany), Ohldeburg university (Ohldeburg, Germany), Institute of high temperature processes & chemical engineering (Patras, Greece), JATIS (Tokyo, Japan), Nippon steel corporation (Futtsu, Chiba, Japan),

#### **Список грантов:**

INTAS 01-2162, МНТЦ 2529, Integration Projects 39 and 110 of SB RAS, DAAD postdoctoral research fellowship (for Holger Borchert), Интеграционный проект «Аэрозоли Сибири», РФФИ (03-03-32340а), РФФИ (03-03-32192а), SB RAS Integ. Project № 42 and RAS Project (new materials) № 4.3.6, РФФИ 02-03-33053; РФФИ 03-03-33104а, РФФИ 00-03-32407а, NATO EST.CLG. 977957, NATO EST.CLG. 979855, Программа Президиума РАН, фундаментальные исследования РАН «Направленный синтез веществ с заданными свойствами и создание функциональных материалов на их основе», NATO (СВР NUKR. SFPP. 980878), Интеграционный проект Президиума РАН 8.17 «Нанофазные и наноконструктивные материалы на основе диоксида циркония: влияние катионного модифицирования и неорганической матрицы на генезис и свойства наночастиц», РФФИ 03-03-32780а, 03-03-32354а, 06-03-32793а. Междисциплинарные интеграционные проекты СО РАН № 97, 117, 101, 79.

#### **Краткая информация по использованию станции (примеры работ)**

- 1) Ivanov V.P., Trukhan S.N., Kochubey D.I., Kriventsov V.V., Kutsenogii K.P., Bufetov N.S., Netsvetaeva O.G., Golobkova L.V., Khodzher T.V. (Институт катализа СО РАН, Институт химической кинетики и горения СО РАН, Лимнологический институт СО РАН (Иркутск)).

#### **Изучение фазового и химического состава поверхностных слоёв частиц атмосферных аэрозолей (Новосибирская и Иркутская области).**

Методом XANES определены фазовое и зарядовое состояния железа в образцах атмосферных аэрозолей (АА), отобранных в Иркутске. Методом вторичной ионной масс-спектрометрии выполнен элементный анализ поверхностных слоёв частиц атмосферных аэрозолей (АА) Новосибирской области и Байкальского региона. Обнаружено, что поверхностные слои (один-два) монослоя всех аэрозолей покрыты адсорбированными углеводородами, азотсодержащими соединениями, другими, более сложными, соединениями и водой. Показано, что основным источником образования АА является эрозия алюмосиликатных почв с примесями железа, титана, щелочных и щелочно-земельных металлов. Воздействие воды приводит к «вымыванию» Na, Ca с поверхностных слоёв и образованию гидроалюмосиликатов.

Грант: Интеграционный проект «Аэрозоли Сибири»

- 2) Vladimir I. Zaikovskii, Kyatanahalli S. Nagabhushana, Vladimir V. Kriventsov, Konstantin N. Loponov, Svetlana V. Cherepanova, Ren I. Kvon, Helmut Boennemann, Dimitrii I. Kochubey, Elena R. Savinova. (Boreskov Institute of Catalysis, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia; Forschungszentrum Karlsruhe, Germany; Max-Planck-Institut für Kohlenforschung, Germany).

#### **Изучение промотирующего влияния Se на электрокаталитическую активность наночастиц Ru в реакции восстановления кислорода. Модельная система для DMFC низкотемпературных топливных элементов.**

Исследование *in situ* Ru-Se электродов низкотемпературных топливных элементов в реакции окисления метанола. Показано влияние Se на формирование активного компонента катализатора.

Представленная работа является частью продолжающегося исследования по выяснению промотирующей роли селена на электрокаталитическую активность рутения в реакции восстановления кислорода методом EXAFS спектроскопии. Систематически исследованы изменения строения исходных модифицированных Se катализаторов Ru/C

при изменении атомного соотношения Se/Ru от 0 до 1. При атомном отношении 1:1 обнаружено образование частиц со структурой, состоящей из ядра, представленного металлическим Ru с ГПУ структурой и оболочки, представленной неизвестным до настоящего времени селенидом рутения с упорядоченной слоистой структурой. Установлено, что модифицирование поверхности частиц высокодисперсного рутения селеном приводит к образованию химической связи между ними, наличие которой подтверждено методами рентгенофотоэлектронной спектроскопии и EXAFS. Обнаружено, что образование селенида на поверхности частиц рутения препятствует окислению их поверхности как на воздухе, так и в электрохимических условиях.

Грант: BMBF under O2Red Network project.

- 3) V.V. Kriventsov, D.I. Kochubey, Z.R. Ismagilov, O.Yu. Podyacheva, A.P. Nemudry. (Институт катализа СО РАН, ИХТТМ СО РАН).

#### **Изучение локальной структуры Nb модифицированных Sr(Co/Fe)O<sub>3-x</sub> перовскитов.**

Локальная структура Fe, Co, Nb и Sr ближайшего окружения для модифицированных ниобием Sr(Co/Fe)O<sub>3-x</sub> перовскитов была изучена EXAFS методом. Образцы были приготовлены прокалкой при T=1250° C предварительно мехактивированной смеси соответствующих оксидов. Для того чтобы получить образцы с различным содержанием кислорода, использовались закалка в жидком азоте, медленное охлаждение на воздухе и электрохимическое окисление. Из анализа EXAFS данных было показано, что катионы железа и ниобия занимают высокосимметричные октаэдрические позиции даже при малом содержании кислорода. В тоже время катионы кобальта занимают только сильно искаженные октаэдрические позиции. Также следует упомянуть, что расстояние Co-O (~1.84Å) несколько короче, чем среднее расстояние Fe-O (~1.92Å) в этом случае. Предполагается, что вакансии кислорода локализованы преимущественно около катионных позиций кобальта.

Гранты: INTAS (00-00180), РФФИ (03-03-32340a), РФФИ (03-03-32192a), SB RAS Integ. Project № 42 and RAS Project (new materials) № 4.3.6

- 4) V.V. Kriventsov, D.I. Kochubey, G. Colón, M.C. Hidalgo, J.A. Navio, M.V. Tsodikov, Yu.V. Maksimov. (Институт катализа СО РАН; Институт нефтехимического синтеза РАН (Москва); Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla, (Spain); Centro Mixto CSIC-Universidad de Sevilla, (Spain); Институт химической физики РАН (Москва)).

#### **Изучение допированной железом фотокаталитической системы ~10%ZrO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>.**

Допированная железом ~10%ZrO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub> фотокаталитическая система была изучена EXAFS методом. Спектры EXAFS (Ti-K, Fe-K, Zr-K краёв) были получены в Сибирском центре СИ (SSRC). ~10%ZrO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub> фотокаталитическая система была приготовлена, с использованием предшественников ZrOCl<sub>2</sub>·8H<sub>2</sub>O и TiO<sub>2</sub> (Degussa P25), двумя способами для введения катионов железа: пропиткой и соосаждением. Из анализа RDF кривых, полученных из EXAFS спектров Zr-K края, для образцов приготовленных пропиткой было показано наличие только тетрагональной фазы ZrO<sub>2</sub>. В случае образцов приготовленных соосаждением ситуация более сложная: так было показано наличие твёрдого раствора ZrO<sub>2</sub> в матрице TiO<sub>2</sub>, малых частичек аморфного ZrO<sub>2</sub> и фазы ZrTiO<sub>4</sub>. Анализ локального окружения железа показал наличие как одиночных катионов, так и присутствие поверхностной фазы субоксидной фазы.

Гранты: РФФИ 02-03-33053; РФФИ 03-03-33104a, РФФИ 00-03-32407a, Грант НАТО EST.CLG. 977957, Грант НАТО EST.CLG. 979855, Программа Президиума РАН, фундаментальные исследования РАН «Направленный синтез веществ с заданными свойствами и создание функциональных материалов на их основе».

- 5) Yu.V. Frolova, D.I. Kochubey, V.V. Kriventsov, E.M. Moroz, S. Neofitides, V.A. Sadykov and D.A. Zyuzin. (Институт катализа СО РАН; Institute of High Temperature Processes & Chemical Engineering, Patras, Greece).

### **Влияние добавок висмута на локальную структуру CeO<sub>2</sub>.**

Исследованию локальной структуры смешанных оксидов в последнее время уделяется большое внимание, поскольку общая дифракционная картина от таких материалов, как правило, характеризует только усреднённые их структурные параметры: структурный тип, параметр элементарной ячейки, размер областей когерентного рассеяния. Тем не менее, локальные изменения структуры, такие как изменение межатомных расстояний, координационных чисел, возникновение вакансий могут быть выявлены другими структурными методами, например, EXAFS-спектроскопией либо рентгенографическим методом радиального распределения электронной плотности (РРЭП). Ранее в работах по исследованию этими методами локальной структуры Ce-Me-O систем показано, что при введении допанта происходит искажение флюоритной структуры CeO<sub>2</sub>: наблюдается изменение межатомных расстояний Me-O и Me-Me и упорядочение анионных вакансий. Целью данной работы было изучение влияния добавок висмута на локальную структуру CeO<sub>2</sub>.

Методом EXAFS и рентгенографическим методом радиального распределения электронной плотности исследована локальная структура образцов смешанных оксидов состава Ce<sub>1-x</sub>Bi<sub>x</sub>O<sub>y</sub>, где  $x = 0.1-0.5$ ,  $y < 2$ . Показано, что образцы представляют собой однофазные системы твёрдых растворов со структурой близкой к структуре CeO<sub>2</sub>. С увеличением количества вводимого висмута параметр элементарной ячейки увеличивается и происходит разупорядочение структуры: изменяются межатомные расстояния, искажается катионная подрешётка, а в анионной подрешётке образуются вакансии.

Гранты: INTAS (01-2162), NATO (Ref. EST.CLG 979855), МНТЦ 2529, NATO (Ref. EST.CLG 979855) and РФФИ (03-03-32340a).

6). N.Yu. Svechnikov, V.G. Stankevich, A.M. Lebedev, K.A. Menshikov, B.N. Kolbasov, N.M. Kocherginsky, D. Rajarathnam, Yu. Kostetski, S.N. Ivanov and V.V. Kriventsov. (РНЦ "Курчатовский институт" (Москва), Институт катализа СО РАН).

### **Изучение локальной структуры примесных катионов железа в углеродных плёнках типа а-C:H:D с высоким содержанием дейтерия D/C-0,5, полученных из дейтериевого плазменного разряда на стенках вакуумной камеры Токамака Т-10.**

Исследования EXAFS Fe-K края для обнаруженных микропримесей металлов Me с высоким Z показали, что расстояние Fe-C=2,11 Å при типичных расстояниях C-H(D) = 1,45 Å. Катионы Fe занимают октаэдральные позиции с окружением атомами C, а величина Fe-C типична для карбида железа. Наличие кластеров Me-C с относительной концентрацией до 10<sup>13</sup>-10<sup>12</sup> в матрице sp<sup>3</sup>(CH+CD) также может способствовать безызлучательному распаду возбуждённых состояний. [1]. N.Yu.Svechnikov, V.G.Stankevich, et al. Nucl. Instr. Meth. A543 (1) 225-228 (2005).

7). Vladislav A. Sadykov, Yu.V. Frolova (Germany), V. V. Kriventsov, D. I. Kochubei, E.M. Moroz, D. A. Zyuzin, Yu. V. Potapova (Samsung, Republic Korea), V. S. Muzykantov, V. I. Zaikovskii, E.B. Burgina, V. P. Ivanov, H. Borhert (Ohldeburg Univ., Germany), S. Neophytides (Inst. Chem. Eng. High Temp. Proc, Patras, Greece), E. Kemnitz, K. Scheurell (Humboldt Univ., Berlin, Germany). (Институт катализа СО РАН; Institute of High Temperature Processes & Chemical Engineering, Patras, Greece; Institute of Chemistry, Humboldt University, Berlin, Germany; Ohldeburg University, Ohldeburg, Germany).

### **Изучение образцов допированного нанокристаллического оксида церия Ce<sub>1-x</sub>Me<sub>x</sub>O<sub>2-y</sub> (Me = Sm, Bi, Gd; x = 0-0.5).**

Известно, что допированный катионами с низкой валентностью нанокристаллический оксид церия обладает высокой кислородной проводимостью благодаря наличию анионных вакансий. Данное обстоятельство делает системы на основе оксида церия привлекательными для различных приложений, таких как твёрдоокисные топливные элементы, электрохимические кислородные насосы и компоненты кислородопроводящих мембран, являющихся каталитическими системами для частичного окисления метана либо других углеводородов в сингаз. Данная работа представляет результаты исследова-

дования структурных особенностей допированных наносистем  $\text{Ce}_{1-x}\text{Me}_x\text{O}_{2-y}$  ( $\text{Me} = \text{Sm}, \text{Bi}, \text{Gd}; x = 0-0.5$ ), приготовленных методом Пекини из органических предшественников, методами ЭМ, рентгеновской дифракции на СИ и EXAFS. Для исследованных систем установлены различия локальной структуры. Предложены возможные структурные модели.

Гранты: INTAS 01-2162, МНТЦ 2529, Integration Projects 39 and 110 of SB RAS, DAAD postdoctoral research fellowship (for Holger Borchert).

8). В.В. Кривенцов, Д.И. Кочубей, М.В. Цодиков, G. Colón, M.C. Hidalgo, J.A. Navio. (Институт катализа СО РАН; Институт нефтехимического синтеза РАН (Москва); Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla, (Spain); Centro Mixto CSIC-Universidad de Sevilla, (Spain)).

#### **Создание методики для изучения реальной структуры поверхности наночастиц и поверхностных дефектов.**

Для этого предлагается декорировать поверхность молекулами-зондами, содержащими атом тяжелого элемента, за окружением которого можно следить методом EXAFS спектроскопии. Испытания большого числа зондов и различных наносистем позволили сформулировать общие требования к подбору молекул-зондов и методикам проведения адсорбции, а также определить класс объектов исследования, к которым применима данная методика. Данная методика применима к достаточно широкому кругу объектов, в частности, для нанесённых катализаторов (оксидных, сульфидных и металллических) и имеет мало ограничений по сравнению с традиционными методами, используемыми для исследования поверхности наночастиц. Наилучшими зондами оказались соединения селена.

Методом EXAFS адсорбции молекул-зондов, получены результаты для следующих систем: для селенированного  $\text{ZrO}_2/\text{SiO}_2$  показано, что селен не связан с цирконием, а закреплён преимущественно в произвольных положениях на поверхностных ОН-группах в силикагеле. Проведено исследование  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  различной природы, имеющих различия в наиболее развитой грани, выходящей на поверхность: (0001) для оксида железа, синтезированного из оксалата железа, и (10-10) для оксида, синтезированного из гетита ( $\alpha\text{-FeO}(\text{OH})$ ). Показано, что адсорбция  $\text{H}_2\text{Se}$  происходит на дефекты, типы которых различны для различных предшественников. Проведено исследование алюмоникелевых катализаторов получения нитевидного углерода путём разложения метана. Показано, что рабочие грани катализатора имеют сложную структуру в виде ступенек с малой высотой и протяженностью. Проведено исследование биметаллических сульфидных катализаторов  $(\text{Ni-Mo})\text{S}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ . Показано, что адсорбция селенофена происходит посредством координации селена на атом никеля, локализованный на боковой грани наночастицы  $\text{MoS}_2$ .

Гранты: РФФИ (проект 03-03-32340а), NATO (Ref. EST.CLG 979855).

9). Д.И. Кочубей, В.В. Кривенцов, Д.А. Зюзин, Ю.В. Фролова, В.А. Садыков, S. Neophytides. (Институт катализа СО РАН, Новосибирск, Россия; Institute of Chemical Engineering & High Temperature Processes, Patras, Greece).

#### **Изучение локальной структуры нанокompозитной системы на основе диоксида церия и манганита лантана используемой для производства синтез-газа методом XAFS спектроскопии.**

В последнее время большое внимание уделяется разработке мембран, позволяющих производить конверсию метана в синтез-газ, причём транспорт кислорода (с внешней стороны мембраны) происходит благодаря смешанной  $\text{O}^{2-}$ /электронной проводимости. Разработка таких мембран в настоящее время является важнейшей задачей материаловедения. Также материалы, обладающие смешанной ион/электронной проводимостью, вызывают огромный интерес как пригодные в качестве анодов или катодов в твёрдооксидных топливных элементах.

Для приготовления допированного Gd либо Pr оксида церия и  $\text{LaMnO}_3$  был использован метод Пекини (Pechini). Бинарные композиты были приготовлены добавлением соединений-прекурсоров допированного  $\text{CeO}_2$  в спиртовую суспензию манганита лантана с последующим выпариванием и прокалкой при  $500^\circ\text{C}$ . Далее, порошковые образцы прессовались в таблетки и прокаливались на воздухе при температурах до  $1300^\circ\text{C}$ . Все измерения XAFS спектров Mn-K, Pr-L<sub>3</sub>, Gd-L<sub>3</sub>, La-L<sub>3</sub> Ce-L<sub>3</sub> краёв были выполнены в Сибирском Центре СИ (SSRC).

Установлено, что метод Пекини (Pechini) обеспечивает гомогенное смешивание компонентов для всех приготовленных образцов. Показано, что локальное окружение атомов Ce во всех случаях близко к таковому для реперного образца  $\text{CeO}_2$  (кубическая структура типа флюорита). Анализ XAFS спектров La L<sub>3</sub>-края также не выявил существенных отличий в локальном окружении лантана для образцов  $\text{LaMnO}_3$  и нанокompозитов, что свидетельствует о минимальном внедрении La в структуру оксида церия. С другой стороны, анализ кривых РРА полученных из EXAFS Mn-K края спектров нанокompозитов, прокаленных при высокой температуре ( $1300^\circ\text{C}$ ), выявил некоторые отличия с таковыми для низкотемпературных образцов. При этом наблюдалось падение амплитуды первого пика Mn-O, а также сдвиг и расщепление и дальних пиков Mn-Me. По всей видимости, это связано с искажениями псевдокубической структуры наноразмерных доменов  $\text{LaMnO}_3$  в нанокompозитах, при этом степень их допирования катионами Gd или Pr остается неопределенной.

Гранты: INTAS (01-2162), МНТЦ 2529, НАТО (CBP NUKR. SFPP. 980878), НАТО (Ref. EST. CLG 979855) и РФФИ (03-03-32340а).

10). В.В. Ефимов, Е.А. Ефимова, Д.И. Кочубей, В.В. Кривенцов, А. Кузьмин, В.В. Сиколенко, В.Г. Симкин, И.О. Троянчук, С.И. Тютюнников, Я.А. Зибавичус. (Объединенный институт ядерных исследований (ОИЯИ, Дубна); Институт катализа им. Г.К. Борескова Сибирского отделения РАН, Новосибирск; Институт физики твердого тела Латвийского университета (Латвия, Рига); Институт физики твердого тела и полупроводников (Минск, Белоруссия); ИНЭОС РАН (Москва); Институт спектроскопии РАН (Троицк); Hahn-Meitner-Institut (Berlin, Germany)).

#### **Изучение $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_3$ ( $x = 0.0 \div 0.5$ ) методами EXAFS и нейтронной дифракции.**

Методами рентгеновской спектроскопии поглощения и нейтронной дифракции высокого разрешения исследованы корреляции локальной атомной и электронной структуры с изменением структурных параметров кристаллической решётки в соединении  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_3$  при допировании стронцием ( $x = 0.0, 0.2, 0.3$  и  $0.5$ ). Методом XANES исследовано валентное состояние кобальта. Показано, что замещение  $\text{La}^{3+}$  на  $\text{Sr}^{2+}$  приводит к незначительному увеличению расстояния Co – Co и появлению смешанного распределения ионов  $\text{Co}^{3+}$  и  $\text{Co}^{4+}$ , находящихся преимущественно в промежуточном спиновом состоянии. По методу Ритвельда проведено уточнение структуры кобальтитов и проанализированы зависимости расстояния Co–O и межатомного угла Co–O–Co от степени допирования.

11). V.Efimov, E.Efimova, S.Khasanov, D.I.Kochubey, V.V.Kriventsov, A.Kuzmin, B.N.Mavrin, V.Sikolenko, S.I.Tiutiunnikov, I.Troyanchuk, Y.Zubavichus. (Joint Institute for Nuclear Research (JINR) Dubna, Moscow region, Russia; Institute of Solid State Physics, RAS Chernogolovka, Moscow region Russia; Boreskov Institute of Catalysis, Novosibirsk, Russia; Institute of Solid State Physics University of Latvia, Riga, Latvia; Institute of Spectroscopy of RAS, Troitsk, Moscow region, Russia; Hahn-Meitner-Institut, Berlin, Germany; Institute of Solid State and Semiconductor Physics, Minsk, Belarus; Institute of Organoelement Compounds of RAS, Moscow, Russia).

**Исследование трансформаций перовскитной кристаллической структуры сегнетоэлектрических материалов ЦТСЛ  $x/65/35(x=4,9)$  при сильноточном**

## **импульсном электронном воздействии методами EXAFS и рентгеновской дифракции на СИ.**

Известно, что сегнетокерамика  $(\text{Pb}_{1-x}\text{La}_x)(\text{Zr}_{0.65}\text{Ti}_{0.35})\text{O}_3$  или ЦТСЛ х/65/35 является одним из интенсивно изучаемых объектов благодаря разнообразному набору оптических, диэлектрических, электрооптических и пьезоэлектрических свойств. Особый интерес как для прикладных, так и для фундаментальных исследований представляют соединения керамики ЦТСЛ х/65/35 с содержанием лантана от 6 до 12 %, которые проявляют целый ряд аномальных свойств, связанных с релаксорным поведением, характеризующимся широким частотно-зависящим максимумом комплексной диэлектрической проницаемости и сложной фазовой диаграммой, обусловленной морфотропной фазовой границей между высоко- ( $F_{R(\text{HT})}$ ) и низкотемпературной ( $F_{R(\text{LT})}$ ) ромбоэдрическими фазами. Облучение образца производилось на линейном импульсном ускорителе электронов ЛИУ-3000. Были обнаружены новые эффекты структурно-фазовой перестройки сегнетоэлектриков под действием импульсных пучков электронов наносекундной длительности, которые выражаются в деформации кристаллической решётки, смещении температуры фазовых переходов. Трансформация структуры и физических свойств облучённых образцов сохраняется в течение длительного времени. Полученные результаты позволяют надеяться, что модификация кристаллической структуры, диэлектрических и магнитных свойств сегнетокерамики и ферромагнетика, возможно, позволят расширить область применения образцов релаксорной сегнетокерамики в электрооптических приборах (быстродействие), оптических модуляторах и затворах.

12). Е.В. Воронина, Г.Н. Коньгин, А.Н. Деев, В.В. Кривенцов, Е.П. Елсуков. (Физико-технический институт УрО РАН, Ижевск; Институт катализа им. Борескова СО РАН, Новосибирск).

## **EXAFS исследование локальной атомной структуры нанокристаллических разупорядоченных сплавов Fe-Ge.**

Исследование локальной атомной структуры разупорядоченных сплавов Fe-Ge является актуальным для разрешения фундаментальной проблемы – влияния топологических и химических локальных неоднородностей кристаллической решётки на формирование магнитных взаимодействий в системах 3d-металл – немагнитная примесь. Использование такой информации совместно с данными по локальным и макроскопическим магнитным характеристикам делает возможным анализ физических механизмов, ответственных за формирование магнитных свойств.

В работе представлены результаты EXAFS-исследований (Fe и Ge К-край) бинарных твёрдых растворов  $\text{Fe}_{1-x}\text{Ge}_x$  ( $x=15-40$  at.%Ge), полученных методом механического сплавления. Методами рентгеновской дифракции, магнитных и мёссбауэровских измерений было показано, что исследуемые сплавы являются однофазными, нанокристаллическими (9-3 нм) твёрдыми растворами. Для получения нормированных осциллирующих частей спектров поглощения в качестве реперных образцов использовались интерметаллиды  $\text{Fe}_8\text{Ge}$  и сплав  $\text{Fe}_{85}\text{Ge}_{15}$ . Характеристическая температура Дебая была оценена с помощью температурных мёссбауэровских измерений. Анализ EXAFS-спектров проводился путём решения обратной бинарной задачи по комбинированным данным на двух краях поглощения. Параметры полученных парциальных парных корреляционных функций свидетельствуют о: высокой степени локальных статических искажений кристаллической решётки, проявляющейся в больших значениях среднеквадратичных смещений пар атомов, по сравнению с таковыми для интерметаллидов; ближнем химическом упорядочении, нарастающем по мере увеличения Ge; «локальной» стадии формирования макроструктуры гексагонального типа в ОЦК решётке.

13). Z.R. Ismagilov, M.A. Kerzhentsev, N.V. Shikina, A.S. Lisitsyn, L.B. Okhlopkova, D. I. Kochubey, V. V. Kriventsov, Ch. N. Barnakov, M. Sakashita, T. Iijima, K. Tadokoro, M.R. Tarasevich, V.A. Bognanovskaya. (Boreskov Institute of Catalysis (Novosibirsk, Russia); Institute of Coal and Coal Chemistry (Kemerovo, Russia); JATIS (Tokyo, Japan); Nippon

Steel Corporation (Futtsu, Chiba, Japan); Frumkin Institute of Electrochemistry (Moscow, Russia)).

**Исследование Pt электродов низкотемпературных топливных элементов.**

Проведено исследование Pt электродов низкотемпературных топливных элементов на воздухе и в условиях *in situ* для уточнения изменений структуры Pt электродов при различных потенциалах.

14) Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН.

**Исследование влияния растворителя на пространственное строение комплексов рутения и биядерных комплексов с Ru и Co.**

В недавних работах сотрудников ИНХ СО РАН обнаружено, что добавление в водный раствор нитратов цветных металлов  $M(NO_3)_2$  радикально увеличивает извлечение Ru трибутилфосфатом в органическую фазу. Аналогичное увеличение экстракции (синергетный эффект) было обнаружено теми же авторами с использованием триоктилфосфиноксида –  $Oct_3PO$ . С другой стороны, константа экстракции цветных металлов с использованием того же экстрагента также увеличивается в присутствии рутений-содержащих анионов в водной фазе. Эти факты и ряд дополнительных соображений позволили предположить образование гетерометаллических комплексов и в смешанных системах

Полученная из EXAFS-спектров информация о структуре комплексов в растворе позволила объяснить аномальные химические свойства сложных фосфиноксидов в органических растворителях.

Установлено, что аномальная экстракция рутения сложными фосфиноксидами в присутствии цветных металлов обусловлена особенностями структуры гетерометаллических комплексов, образующихся в органических растворителях.

15) Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Институт физики полупроводников СО РАН.

**Исследование пространственного строения аморфных плёнок оксидов редких земель на Si.**

Уменьшение длины канала кремниевого полевого транзистора до величины  $\approx 600$  Å сопровождается уменьшением толщины подзатворного диэлектрика  $SiO_2$  до величины 12 Å. При этом туннельный ток через такой тонкий  $SiO_2$  возрастает до неприемлемо больших величин, что приводит к дополнительному рассеянию мощности. Магистральное направление решения этой проблемы заключается в замене  $SiO_2$  на, так называемые, альтернативные диэлектрики (диэлектрики с высоким значением диэлектрической проницаемости, high-k dielectrics). Второе применение альтернативных диэлектриков состоит в использовании их в качестве изолятора в запоминающем конденсаторе ячейки памяти оперативных запоминающих устройств. Третье применение альтернативных диэлектриков основано на применении их в качестве блокирующего диэлектрика во ФЛЭШ-элементах памяти. В качестве альтернативных диэлектриков в настоящее время интенсивно исследуются окись гафния ( $HfO_2$ ,  $\epsilon=25$ ), окись циркония ( $ZrO_2$ ,  $\epsilon=25$ ), окись иттрия ( $Y_2O_3$ ,  $\epsilon=15$ ), окись алюминия ( $Al_2O_3$ ,  $\epsilon=10$ ). Одним из наиболее перспективных альтернативных диэлектриков является  $ZrO_2$ .  $ZrO_2$  имеет большую величину запрещённой зоны, большие барьеры для инжекции электронов и дырок на границе  $Si/ZrO_2$ . Двумя ключевыми диэлектриками в современных кремниевых приборах являются оксид  $SiO_2$  и нитрид  $Si_3N_4$  кремния, их атомная и электронная структура детально исследована. В то же время атомная и электронная структура альтернативных диэлектриков только начинает изучаться.

16) Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН.

**Исследование влияния условий приготовления на структуру гидроксидов алюминия, интеркалированных переходными металлами.**

Интеркаляционные соединения, получаемые внедрением солей лития в кристаллические тригидроксиды алюминия, обладают определённой спецификой по сравнению с другими слоистыми соединениями, поскольку формируются за счёт фиксации гостевых молекул не только в межслоевом пространстве, но и в полостях молекулярных размеров, расположенных в слоях матрицы-хозяина. Этот факт даёт новые возможности для поиска и разработки интеркаляционных систем, которые могут служить в качестве прекурсоров для синтеза нанофазных материалов. Знание пространственного строения этих соединений является важным, поскольку даёт ключ к пониманию закономерностей их формирования. К сожалению, использование традиционных методов исследования пространственного строения возможно лишь для соединений, содержащих относительно небольшие по размеру анионы, которые не вызывают значительных деформаций слоистой структуры. Пространственное строение соединений, содержащих Medta, до настоящего времени не охарактеризовано ввиду сильной деформации слоёв матрицы. Ранее показано, что термическое разложение соединений, содержащих Medta, приводит к образованию металлсодержащих фрагментов нанометрового размера, строение которых также невозможно исследовать с использованием дифракционных методов. EXAFS и XANES спектроскопия являются уникальными методами, позволяющими определять структурные параметры не только кристаллических, но и аморфных объектов, такие как межатомные расстояния, тип атомов окружения, координационные числа, относительные среднеквадратичные смещения атомов (факторы Дебая-Уоллера), симметрия локального окружения и ориентация связей относительно слоёв матрицы. До настоящего времени эти методы не применялись для исследования пространственного строения интеркаляционных соединений на основе гидроксидов алюминия и продуктов их термолиза. Проведен синтез и термическое разложение интеркаляционных соединений гидроксида алюминия, которые содержат анионы  $[\text{Medta}]^{2-}$  (где М= атомы переходных металлов), с целью формирования наноконпозиционных материалов, содержащих металлические кластеры.

Установлена зависимость микроструктуры металлокластеров от температуры нанесения и взаимного влияния переходных металлов в процессе интеркалирования.

17) Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Институт физики полупроводников СО РАН.

#### **Влияние условий приготовления на пространственную структуру квантовых точек GaN/AlN.**

Происходящие в процессе гетероэпитаксии морфологические и структурные изменения поверхности полупроводниковых материалов составляют основу современной технологии получения наноструктур: гетероструктур с квантовыми ямами, квантовыми проволоками, квантовыми точками. Так, в исследуемой системе GaN/AlN (расогласование постоянных решёток составляет 2%) при характерном размере нанокристаллов 5 нм возникающие упругие деформации изменяют энергетический спектр на величину порядка 10 -100 мэВ, что сравнимо с энергией размерного квантования носителей заряда в квантовых точках. Определение величин упругих деформаций в тонких слоях и нанокристаллах с помощью традиционных методов рентгеноструктурного анализа или электронно-дифракционными методами ограничено их возможностями по чувствительности и отсутствию дальнего порядка в подобных системах. Методы EXAFS (extended X-ray absorption fine structure – протяженная тонкая структура рентгеновского спектра поглощения) и XANES (X-ray absorption near-edge structure – ближняя структура рентгеновских спектров поглощения) спектроскопии, которые могут быть реализованы с использованием мощного синхротронного излучения (СИ), позволяют определять параметры локального окружения атомов, а также определить сдвиги электронных уровней и оценить зарядовые состояния атомов.

18) Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН.

#### **Исследование локализации ацетилацетоната меди внутри кукубит(8)урилла.**

Кукурбит(8)урил отожжён при  $T=250$  С, затем насыщен парами ацетилацетоната меди при  $T=180^0$  С с последующим отжигом в атмосфере  $H_2$  при  $245 - 250^0$  С (30 мин). Анализ полученных результатов позволяет утверждать, что на первом этапе нанесения происходит координация ацетилацетоната меди с участием атома азота кукурбит(8)урила, а затем при отжиге в атмосфере  $H_2$  при  $245 - 250^0$  С образуется металлическая медная фаза.

## 2.8. Метрология и EXAFS-спектроскопия в мягком рентгеновском диапазоне.

Данная станция (Рис. 18) является единственной, которая принципиально отличается от всех других экспериментальных станций СИ на накопителе ВЭПП-3. Станция полностью выполнена в высоковакуумном исполнении и не имеет никаких вакуумно-плотных фольг, отделяющих её от вакуумной камеры накопителя. Станция предназначена для проведения широкого круга фундаментальных и прикладных исследований в мягком рентгеновском диапазоне спектра 100-5000 эВ в области метрологии (калибровка рентгеновских детекторов, элементов рентгеновской оптики и др.), катализа (методики спектроскопии EXAFS и XANES), материаловедения (методики магнитного дихроизма MCD и MLD).

Разработку станции вели сотрудники Института ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН и Института катализа им. Г.К.Борескова СО РАН. Работа выполнялась в рамках:

- проекта № 2500 Международного научно-технического центра (МНТЦ);
- проекта № 2920 Международного научно-технического центра (МНТЦ);
- проекта № 3943 Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере.



Рис. 18. Станция для работы с мягким рентгеновским излучением на ВЭПП-3.

**Физический запуск первой очереди канала и станции, первые работы на пучке.** В 2005 году был произведен физический запуск первой очереди канала и станции, выполнены первые измерения на "белом" пучке. Продолжалась работа по созданию высоковакуумного монохроматора для станции. Изготовлен и установлен на пучок блок монохроматизации "белого" пучка СИ на основе пары параллельных многослойных зеркал, который будет использован на станции до того времени, пока не будет изготовлен монохроматор. Блок позволяет получать монохроматическое излучение в области 100-1500 эВ с разрешением  $\Delta E/E=10^{-1}-10^{-2}$ . Основное отличие блока монохроматизации от монохроматора - невозможность оперативной перестройки по энергии без нарушения вакуума. Проведены вакуумные испытания блока под пучком СИ и трассировочные работы, необходимые для его установки. Создана система блокировки для предотвращения попадания пучка СИ на аварийный вакуумный шибер в случае срабатывания аварийной защиты по вакууму (для предотвращения нарушения вакуума в накопителе).

Первые измерения на пучке были посвящены отработке новой оригинальной методики абсолютной калибровки сцинтилляционных счётчиков в области мягкого рентгена. Проблема абсолютной спектральной калибровки детекторов в ВУФ и мягком рентгеновском диапазонах (определение абсолютной спектральной чувствительности и эффективности регистрации) до сих пор остается актуальной в мире. Единственным универсальным способом решения этой задачи в настоящее время является использование криогенного болометра, работающего при температуре жидкого гелия. Такие болометры дороги, и в мире их насчитывается всего несколько штук. В то же время потребность в калиброванных детекторах излучения в указанных диапазонах спектра довольно обширна и обусловлена космическими исследованиями, исследованиями по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, потребностями современного научного приборостроения и другими областями применений.

В качестве одного из возможных решений указанной проблемы была предложена новая методика абсолютной калибровки сцинтилляционных счётчиков в диапазоне мягкого рентгеновского излучения. Разрабатываемый метод основан на определении статистического распределения числа электронов, вылетающих с фотокатода фотоэлектронного умножителя. В сочетании с определением толщины "мёртвого" слоя сцинтиллятора по методу самокалибровки предложенная методика позволит, как ожидается, калибровать СС в области 500-5000 эВ с погрешностью порядка 10-15%.

В ходе измерений были получены амплитудные спектры сигналов сцинтилляционного счетчика (СС) на основе фотоэлектронного умножителя ФЭУ-130 со сцинтиллятором YAP. Работы проводились без использования монохроматизирующего блока, на флуоресцентном излучении от мишеней, возбуждаемых "белым" пучком СИ. В качестве таких мишеней были выбраны алюминий (1.48 кэВ), кремний (1.74 кэВ) и медь (8 кэВ). При помощи светодиода был также получен набор одно- и многоэлектронных эталонных амплитудных спектров СС. Эталонные спектры используются в рамках методики калибровки для сравнения со спектрами, полученными на рентгеновском излучении. Начата обработка полученных спектров. Для завершения работы необходимы дополнительные измерения, проведение которых запланировано на 2006 год.

## **2.9. Рентгеновская томография и микроскопия.**

Назначение станции – выполнения задач, связанных с неразрушающими исследованиями объектов археологии, геологии и материаловедения, требующих трёхмерного анализа внутренней структуры объектов с высоким пространственным разрешением. Второй класс задач связан с аттестацией и внедрением рентгеновской оптики в экспериментах с использованием синхротронного излучения.

Станция находится в стадии разработки и создания.

Планируемые окончательные параметры станции на ВЭПП-3:

Энергетический диапазон монохроматического излучения, получаемого на станции	10 – 60 кэВ
Размер поля регистрации	50 мм
Пространственное разрешение метода	100 мкм
Время съёмки образца	≥ 15 мин

**Статистика использования станции в 2005 году:** на станции проводились эксперименты, связанные с обработкой метода рентгеновской компьютерной томографии (504 часа), а также исследования характеристик рентгенооптических элементов (432 часа).

**Области применения:**

- Археология: неразрушающее определение внутренней структуры уникальных образцов.
- Минералогия: изучение контрастных включений в минералах и других геологических объектах.
- Материаловедение: неразрушающие исследования внутренних микрповреждений материала на стадии предразрушения.

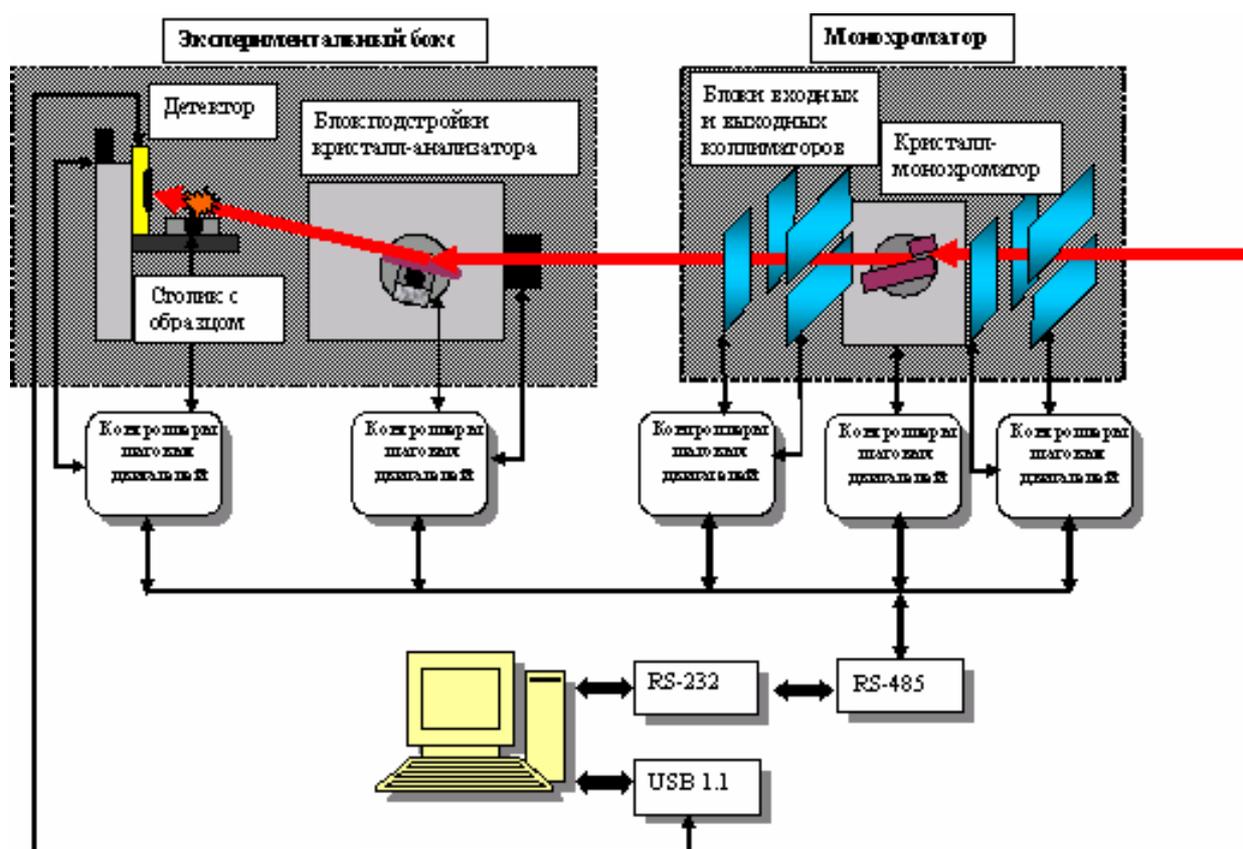
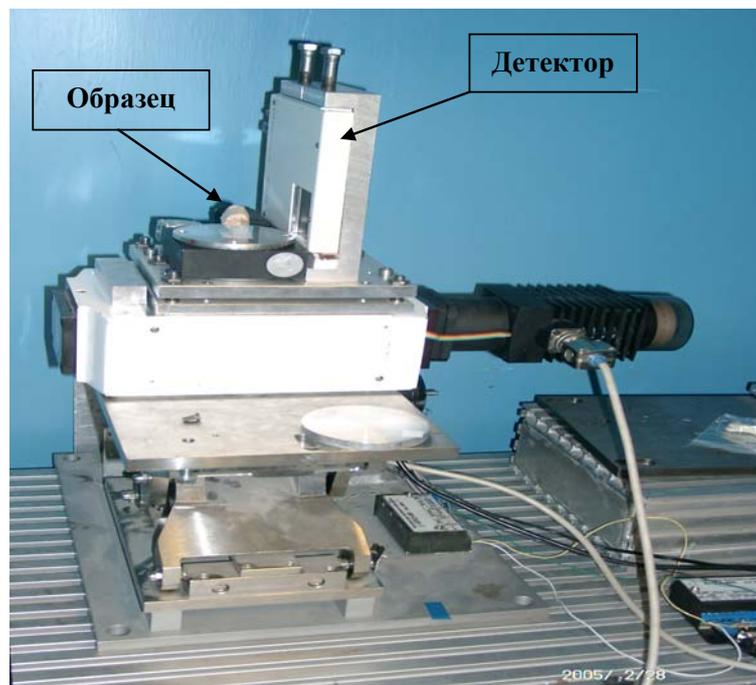
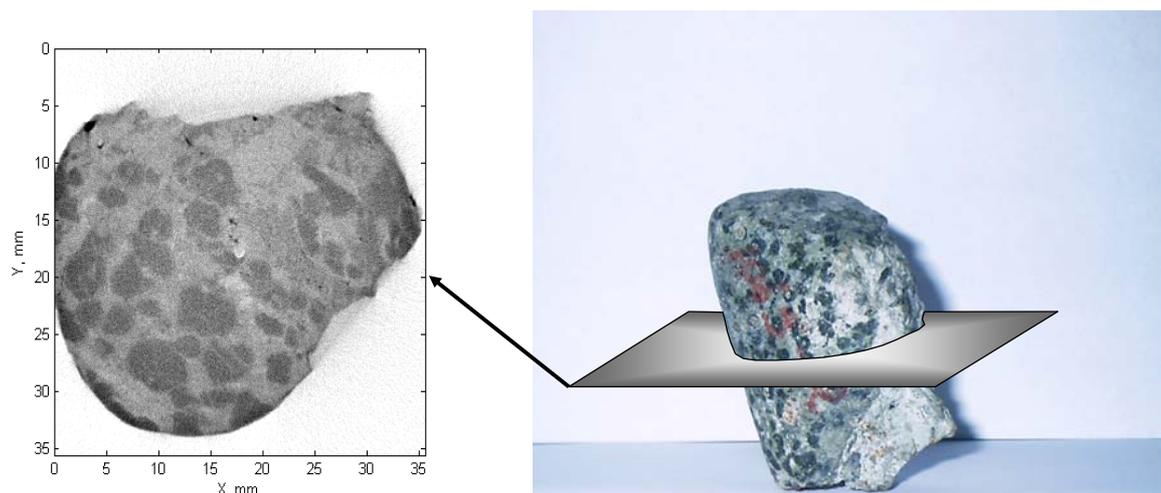


Рис. 19. Схема взаимодействия основных подсистем станции томографии.



**Рис. 20.** Общий вид станции при работе с получением трёхмерного изображения археологического образца.



**Рис. 21.** Срез кимберлитовой породы, полученный методом компьютерной рентгеновской томографии.

### 3. Работа с пучками терагерцового излучения.

#### 3.1. О терагерцовом излучении.

В последнее десятилетие наблюдается резкий рост числа фундаментальных и прикладных работ в области генерации и применения излучения в интервале длин волн от 30 мкм до 0,3 мм, что соответствует частотному диапазону 10 – 1 ТГц. Эта область лежит между фотоникой и электроникой, перекрываясь с длинноволновым далеким инфракрасным излучением и высокочастотными миллиметровыми волнами. За последние годы появился целый ряд новых типов источников терагерцового излучения от милливаттных генераторов субпикосекундных импульсов широкополосного излучения на основе фемтосекундных лазеров до лазеров на свободных электронах, генерирующих перестраиваемое узкополосное когерентное излучение со средней мощностью до сотен ватт.

Интерес к терагерцовому излучению обусловлен следующими его свойствами:

- это неионизирующее излучение (энергия фотонов 0,04 – 0,004 эВ);
- это излучение хорошо проходит через мутные среды и мелкодисперсные материалы из-за резкого подавления рэлеевского рассеяния ( $1/\lambda^4$ );
- это область вращательных спектров молекул, колебаний биологически важных коллективных мод ДНК и белков, колебаний твёрдотельной плазмы;
- это область водородных связей и вандерваальсовских сил межмолекулярного взаимодействия;
- энергия фотонов терагерцового излучения лежит в области энергетической щели сверхпроводников.

До недавнего времени источники терагерцового излучения в небольших количествах были в физических лабораториях и почти полностью отсутствовали в химических, биологических и медицинских лабораториях. Создание лазеров на свободных электронах, как источников терагерцового излучения, позволило создать на их базе центры коллективного пользования в США, Голландии и Японии, которые используются учёными разных специальностей. Созданы национальные программы использования терагерцового излучения в США, Японии и Европе.

Использование Новосибирского лазера на свободных электронах в качестве терагерцового источника излучения позволяет:

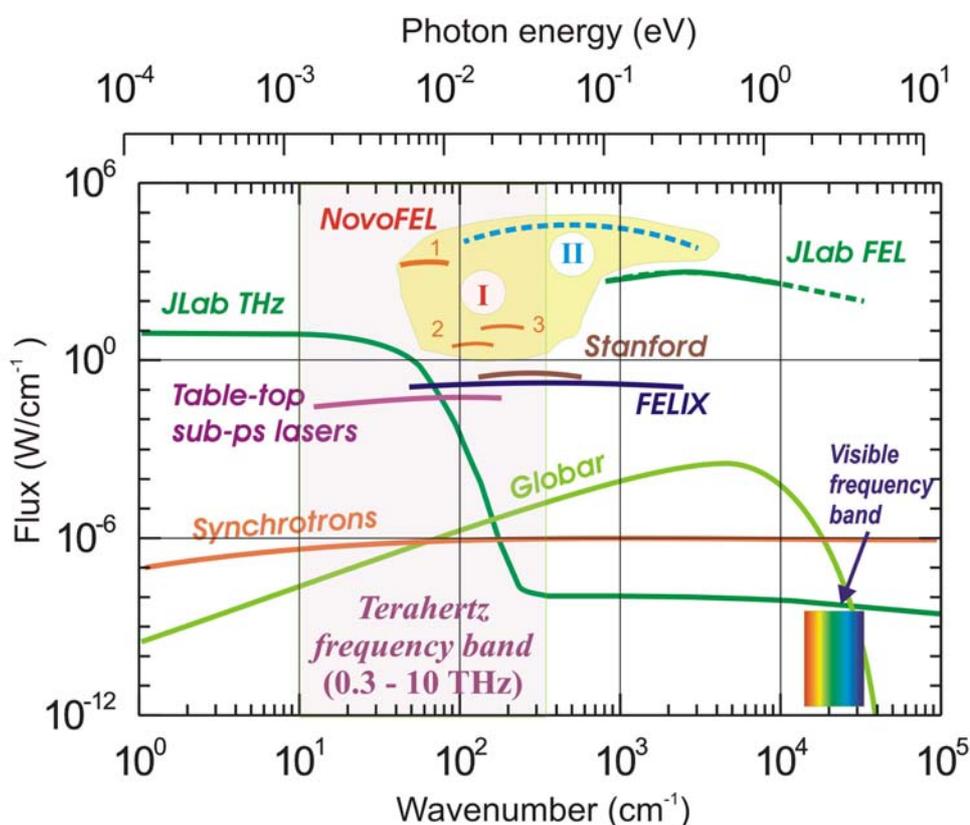
- плавно перестраивать длину волны излучения в диапазоне 120-235 микрон с монохроматичностью лучше 0,3%;
- иметь большую среднюю мощность (до 400 Вт);
- иметь короткие импульсы излучения (меньше 100 пс);
- иметь большую пиковую мощность (0,5 – 1 МВт);
- иметь полностью пространственно когерентный источник с длиной продольной когерентности ~2 см.

Для запуска рабочих станций пользователей и эффективного использования лазера на свободных электронах требовалось решить нескольких проблем. Во-первых, это вывод излучения из лазера и транспортировка до рабочих станций пользователей. Во-вторых, это создание нескольких станций пользователей с подводом излучения к каждой станции. В-третьих, важным моментом является исследование параметров самого излучения ЛСЭ, которые необходимо знать пользователям. Далее, для эффективной работы необходимо решить проблему детекторов (одно- и двухкоординатных), монохроматоров, оптических элементов (выходные окна, поляризаторы, фокусирующие зеркала, линзы). Мало что из этого оборудования можно купить по каталогам в российских и зарубежных фирмах, его необходимо разрабатывать и изготавливать самим экспериментаторам. Решению этих задач, а также обеспечению работ пользователей на рабочих станци-

ях было уделено основное внимание в 2005 году. В то же время значительные усилия были направлены на проектирование второй очереди лазера на свободных электронах, которая позволит расширить спектр генерации до 30 – 300 мкм.

### 3.2. Общая информация об источниках терагерцового излучения на основе электронных пучков и параметры Новосибирского ЛСЭ.

Можно выделить три основных типа генераторов излучения, использующих излучение релятивистских электронов. Прежде всего, это – синхротроны, излучение которых используется в прикладных целях в течение уже нескольких десятилетий. За прошедшее время применение синхротронного излучения позволило получить уникальные результаты в самых различных областях науки, что, в частности, подтверждает многолетний опыт функционирования Центра синхротронного излучения в ИЯФ им. Г.И.Будкера.



**Рис. 22.** Спектральная плотность излучения некоторых источников в терагерцовом и соседних диапазонах, в том числе лазеров на свободных электронах Джефферсоновской лаборатории (JLab FEL), Стэнфордского университета (Stanford), FOM-института в Нидерландах (FELIX), фундаментальной, первой и второй гармоник Новосибирского ЛСЭ (NovoFEL), а также терагерцового источника Джефферсоновской лаборатории (JLab THz). Римской цифрой II обозначена ожидаемая спектральная плотность мощности второй очереди Новосибирского ЛСЭ.

Источники синхротронного излучения генерируют широкополосное излучение при движении в магнитном поле. Однако интенсивность их излучения в терагерцовом диапазоне длин волн до недавних пор была относительно невелика (см. рис. 22). По этой причине исследований в терагерцовом диапазоне с их помощью не проводилось.

В последние несколько лет ситуация существенно изменилась после предложения использовать для генерации излучения сверхкороткие электронные ступки высокой

плотности. Если длина сгустка значительно короче длины волны излучения, то последнее является полностью когерентным. На этом принципе основан источник излучения, недавно запущенный в Джефферсоновской лаборатории (JLab THz), который генерирует излучение в широкополосное терагерцовое излучение (спектр см. на рис. 22) со средней мощностью около 100 Вт. Имеются планы создания мощного источника такого типа в Брукхевенской национальной лаборатории (США) и на источнике четвёртого поколения в Дарсбери (Великобритания).

**Таблица 5.**

Характеристики некоторых ЛСЭ терагерцового диапазона.

	Stanford	UCSB		FELIX	ENEА Compact FEL
$\lambda$ ( $\mu\text{m}$ )	15-80	63-340	340-2500	3-250	2000 - 3500
$\nu$ (THz)	3.75-20	0.88-4.8	0.12-0.88	1.2-100	0.09 – 0.15
Micropulse width	2-10 ps	-	-	6-100 cycles	50 ps
Micropulse Rep Rate	11.8 MHz	-	-	1000 MHz, 50 MHz, 25 MHz	3 GHz
Micropulse Energy	1 $\mu\text{J}$	-	-	1-50 $\mu\text{J}$	0.5 $\mu\text{J}$
Macropulse Width	0.5-5 ms	1-20 $\mu\text{s}$	1-6 $\mu\text{s}$	5 ms	4 $\mu\text{s}$
Macropulse Rep Rate	0-20 Hz	0-7.5 Hz	0-1.5 Hz	10 Hz	1 -10 Hz
Average Power	< 1 W	5-100 mW	5-100 mW	< 1 W	4 – 40 mW
Peak Power	< 500 kW	< 6 kW	< 15 kW	< 10 MW (@ 20 $\mu\text{m}$ ); <1 MW (@ 100 $\mu\text{m}$ )	10 kW (@ 2600 $\mu\text{m}$ )
Peak Field	< 250 kV/cm	< 70 kV/cm	<20 kV/cm	< 10 MV/cm (@ 20 $\mu\text{m}$ ); <2 MV/cm (@100 $\mu\text{m}$ )	3.5 kV/cm (@ 2600 $\mu\text{m}$ )

Ещё одним источником длинноволнового излучения является источник Смита-Парселла, в котором электронный пучок генерирует излучение, пролетая вблизи поверхности металлической решётки. В первых источниках этого типа использовался относительно низковольтный электронный пучок. Существует более мощный источник с 15-МэВ электронным пучком. Источники такого типа маломощны и вряд ли могут серьёзно конкурировать с синхротронами и лазерами на свободных электронах.

Наиболее мощными источниками, способными генерировать излучение терагерцового диапазона, являются лазеры на свободных электронах (ЛСЭ). Их излучение можно плавно перестраивать по частоте в достаточно широком спектральном диапазоне. Из терагерцовых лазеров, работающих в течение достаточно длительного времени, следует выделить лазеры в Стэнфордском университете, Калифорнийском университете в Санта Барбара, FELIX, и INEA (Фраскати). Параметры этих лазеров приведены в таблице 5. Эти устройства реально являются пользовательскими машинами, на которых специалисты из многих научных лабораторий выполнили множество работ в самых разных об-

ластях – от материаловедения до биологии и медицины. Последние работы, выполненные на этих ЛСЭ, будут описаны ниже.

Эффективность генерации лазеров на свободных электронах не очень велика, поэтому следующее поколение ЛСЭ, рассчитанное на генерацию излучения с высокой средней мощностью, с необходимостью должно использовать электронные ускорители с рекуперацией энергии электронов. Самым мощным из существующих ЛСЭ сегодня является лазер Джефферсоновской лаборатории со средней мощностью генерации до 10 кВт. Его спектр, однако, лежит вне терагерцового диапазона, где самым мощным источником сейчас является первая очередь Новосибирского ЛСЭ со средней мощностью излучения до 400 Вт.

**Таблица 6.**

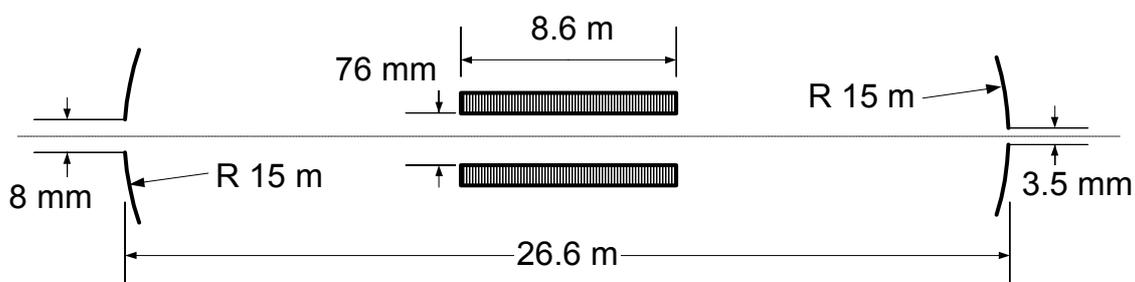
Характеристики излучения Новосибирского ЛСЭ.

Длина волны основной гармоники	(120 ... 235) мкм
Область спектра 2-й и 3-й гармоник, с мощностью 1 – 3% от основной гармоники	(40 ... 117) мкм
Относительная спектральная ширина	(0.3 ... 1) %
Диаметр гауссова пучка на выходе каналов	80 мм
Степень поляризации излучения	>99.6 %
Поперечная когерентность	Полная
Временная когерентность	(40 ... 100) пс
Максимальная средняя мощность	0.4 кВт (@11.2 МГц)
Длительность импульса	(40 ... 100) пс
Частота повторения	(2.8 ... 11.2) МГц

При достаточно высокой монохроматичности излучения оно является полностью пространственно когерентным по волновому фронту и имеет временную когерентность в диапазоне 40 – 100 пс, ограниченную, видимо, длительностью импульса электронов. Описание некоторых экспериментов, в которых были измерены те или иные параметры лазера, приводятся ниже.

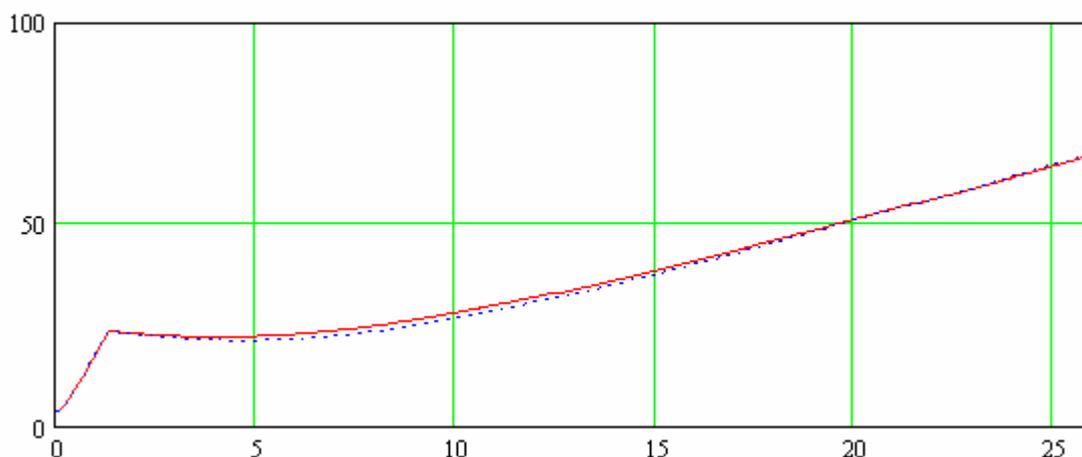
### **3.3. Канал вывода терагерцового излучения лазера на свободных электронах**

Оптический резонатор ЛСЭ представляет собой два зеркала, помещённых в вакуумный объем (см. Рис. 23). Отверстие в левом зеркале используется для вывода излучения, а в правом – для ввода луча гелий-неонового лазера, который используется для юстировки зеркал оптического резонатора и канала вывода излучения.



**Рис. 23.** Схема оптического резонатора ЛСЭ.

Так как максимальная длина волны  $\lambda$  излучения довольно велика (235 микрон), то велика и расходимость излучения  $1.22 \lambda/D = 0.03$  ( $D = 8$  мм – диаметр выходного отверстия в зеркале), поэтому для транспортировки излучения на десятки метров требуется применение фокусировки. Это само по себе является технической проблемой, так как преломляющая оптика (линзы) с достаточно малым поглощением в терагерцовом диапазоне длин волн отсутствует, сферические зеркала дают астигматизм фокусировки, а тороидальные или эллипсоидальные зеркала большого размера сложны в изготовлении и дороги. Для уменьшения угловой расходимости применено сферическое медное зеркало с радиусом кривизны 2,5 м, на которое излучение падает под малым (около  $7^\circ$ ) углом к нормали. Расчётная зависимость размера эквивалентного Гауссова пучка (т. е., Гауссова пучка, который даёт наибольший вклад в разложение поля излучения) от расстояния вдоль канала для длины волны 200 микрон показана на Рис. 24.



**Рис. 24.** Зависимость поперечных размеров пучка излучения (мм) от расстояния вдоль канала (м).

Для обеспечения сверхвысокого вакуума в ЛСЭ и ускорителе-рекуператоре вакуумный объём последних отделён от канала вывода алмазным окном. Так как электрическое поле излучения ЛСЭ горизонтально, окно повернуто на угол Брюстера вокруг вертикальной оси, что обеспечивает практически полное прохождение излучения через окно. Для минимизации размеров окна оно расположено вблизи выходного отверстия зеркала оптического резонатора, где поперечные размеры пучка излучения минимальны. Алмазная пластинка имеет диаметр 40 мм, толщину 0,7 мм и вакуумно уплотняется индиевой проволокой.

Сам канал вывода состоит из пяти камер, где расположены плоские медные зеркала, соединённых трубами. Вакуумная система выполнена из нержавеющей стали и закреплена на специальных подвесках. Канал должен быть откачан или заполнен инертным газом, так как терагерцовое излучение сильно поглощается в воздухе (в основном,

водяным паром). В выбранной нами схеме работы после откачки в канал напускается сухой азот под атмосферным давлением.



**Рис. 25.** Канал в зале для пользователей перед монтажом станций. Видны спуски к будущим экспериментальным станциям.

### **3.4. Экспериментальные станции**

**1. Станция исследований химико-физических и биологических свойств продуктов воздействия терагерцового излучения на вещества (ИХКиГ СО РАН, ИЦиГ СО РАН).**

**Назначение:**

Станция предназначена для исследования дисперсного состава, морфологии и биологической активности продуктов абляции/десорбции биологических структур и неорганических материалов при воздействии терагерцового излучения на вещества

**Оснащение станции:**

- диффузионный спектрометр аэрозоля для определения дисперсного состава частиц в диапазоне 3-200 нанометров;
- фотоэлектрический счётчик аэрозольных частиц для определения дисперсного состава частиц в диапазоне 0.3-10 микрон;
- оборудование для отбора проб для химико-биологического и электронно-микроскопического анализа.

**2. Диагностическая станция (ИЯФ СО РАН).**

**Назначение:**

Станция для диагностики и контроля параметров терагерцового излучения из лазера на свободных электронах; в будущем – метрологии в ТГц диапазоне.

**Оснащение станции:**

- спектральный комплекс на основе монохроматора МДР-23 для измерения длины волны излучения и ширины линии излучения;

- фурье-спектрометр фирмы Bruker для измерения длины волны излучения и ширины линии излучения;
- двухмерный сканирующий датчик терагерцового излучения для измерения профиля светового пучка;
- визуализатор терагерцового излучения на основе теплового экрана и тепловизора, разработанного в ИФП СО РАН;
- визуализатор терагерцового излучения на основе термочувствительного люминесцентного экрана фирмы Micken Instruments;
- измеритель добротности оптического резонатора лазера на свободных электронах с помощью диода Шоттки.



**Рис. 26.** Общий вид диагностической станции (станция для измерения параметров терагерцового излучения).

### **3. Станция оптико-акустической спектроскопии (ИХКиГ СО РАН, ИОА СО РАН).**

#### **Назначение:**

Станция предназначена для исследования спектров поглощения газов в терагерцовом диапазоне.

#### **Оснащение станции:**

оптико-акустическая ячейка для измерения слабого поглощения в газах со схемой синхронного детектирования. Минимальное измеряемое поглощение  $10^{-5} \text{ см}^{-1}$ .

### **4. Станция для изучения химии металло-органических соединений под действием излучения ЛСЭ (ИНХ СО РАН).**

#### **Назначение:**

станция предназначена для масс-спектрометрического изучения процессов распада металло-органики при поглощении молекулами под действием излучения ЛСЭ в молекулярном пучке и на поверхности.

#### **Оснащение станции:**

- время-пролётный масс-спектрометр МСХ-6;
- система формирования молекулярного пучка на основе ячейки Кнудсена;
- быстрый АЦП с памятью 32 Мб типа NI 5112.

### 3.5. Разработка и создание специализированной аппаратуры.

Отсутствие стандартного оборудования для регистрации терагерцового излучения и управления им при создании и эксплуатации рабочих станций ставит задачу разработки соответствующего оборудования на первый план. Первой задачей, реализованной в истекшем году, была разработка, изготовление и запуск «транспортного канала» – системы доставки излучения от Новосибирского ЛСЭ к рабочим станциям пользователей. Ввиду важности этой системы она описана в отдельном разделе. При создании этого канала и другого оборудования, кроме всего прочего, следует учитывать, что интенсивность излучения Новосибирского ЛСЭ на несколько порядков величины выше, чем у всех остальных существующих в мире источников терагерцового излучения. С одной стороны, имеется опасность разрушения оборудования, но, с другой стороны, высокая мощность позволяет разработать методы измерений, которые недоступны пользователям обычных источников излучения.

Для измерения мощности субмиллиметрового ЛСЭ в помещении пользователей были разработаны и запущены в работу два калориметра. Наиболее точное измерение мощности даёт простейший экспозиционный калориметр на основе теплоизолированной сапфировой пластины. Сапфир является идеальным материалом для таких измерений из-за достаточно большой длины поглощения субмиллиметрового излучения. Соответственно, мнимая часть его показателя преломления много меньше действительной. Кроме этого, действительная часть слабо зависит от длины волны и легко измеряема. В результате точно известна (и эксперимент подтверждает эти расчёты) доля отраженной от сапфировой пластины мощности (25%), и эта доля не меняется с длиной волны. Таким образом, сапфировая пластина является идеальным «чёрным телом» с коэффициентом черноты 75 %. Конструктивно этот прибор намного проще гипотетического идеального (с коэффициентом черноты 100 %) чёрнотельного калориметра.

Другим калориметром, более удобным для оперативных измерений, является модернизированный промышленный гигагерцовый калориметр МКЗ-71. Вместо волноводной поглощающей головки в этот прибор установлен специальный квазиоптический конический поглотитель на основе меди с детонационным керамическим покрытием. Однако, из-за конструктивных особенностей в этом приборе возникают дополнительные тепловые потери. Поэтому его показания должны быть увеличены на величину около 25 %.

Модернизирован пироэлектрический реперный детектор излучения ЛСЭ, установленный за одним из зеркал оптического резонатора. Теперь между этим датчиком и выходным окном отсутствует атмосферный промежуток, искажающий измерения на линиях поглощения воды.

Проведено множество экспериментов с термофлюоресцентными экранами фирмы Masken Instruments. Экраны имеют хорошее пространственное и временное разрешение и после элементарной калибровки с помощью сапфирового калориметра и поляризационного проволочного ослабителя позволяют измерять абсолютное распределение интенсивности субмиллиметрового излучения.

Введен в строй модернизированный монохроматор МДР-23. Для него изготовлены дополнительные субмиллиметровые и инфракрасные дифракционные решётки и более широкие щели. С помощью этого монохроматора зарегистрированы первая, вторая и третья гармоники излучения ЛСЭ. Преимуществом этого прибора перед другими спектральными приборами, используемыми в эксперименте ЛСЭ, является реальное пространственное разделение гармоник, что важно для проведения многих пользовательских экспериментов.

Продолжались эксперименты с сеточным Фабри-Перо интерферометром. При помощи этого прибора была построена калибровочная зависимость длины волны излучения ЛСЭ от тока ондулятора. Этой зависимостью пользуются операторы ЛСЭ для установки заданной длины волны в различных экспериментах.

Продолжались эксперименты по измерению параметров ЛСЭ при помощи быстрых детекторов на основе диодов Шоттки. Измерены потери в модернизированном оптическом резонаторе с большим выходным отверстием. Потери оказались очень близкими к аналитическому расчёту, проведенному ранее.

С учётом высокой мощности излучения, были созданы (или адаптированы к терагерцовому диапазону) три системы визуализации терагерцового излучения. Оперативный мониторинг распределения плотности мощности терагерцового излучения осуществляет разработанный в ИФП СО РАН термограф, матрица которого размером  $128 \times 128$  пикселей чувствительна к ближнему инфракрасному излучению в диапазоне 2.5 – 3 мкм. Термограф способен регистрировать изображение в ИК-диапазоне экрана, устанавливаемого на пути пучка лазерного излучения, с частотой кадров до 40 Гц. Для получения хорошего временного разрешения совместно с ИФП СО РАН ведётся разработка специального экрана. Пространственное разрешение ограничивается относительно малым числом пикселей, и создание регистратора излучения с большой матрицей является одной из актуальных задач на ближайшее время.

Для получения изображений с хорошим временным разрешением для измерений в терагерцовом диапазоне был адаптирован термочувствительный люминесцентный экран (thermal image plate), выпускаемый компанией Macken Instruments для регистрации излучения лазеров ближнего и среднего ИК-диапазона. Принцип действия этого устройства основан на термическом тушении люминесценции сцинтиллятора, освещаемого ртутной лампой. Экран светится жёлто-оранжевым цветом. Нагрев сцинтиллятора приводит к тушению люминесценции. Съёмка экрана видеокамерой позволяет изучать временную зависимость распределения интенсивности в терагерцовом пучке с частотой кадров 25 Гц.

Два описанных выше метода визуализации качественно передают распределение интенсивности в поперечном сечении терагерцового пучка, но для определения абсолютных значений плотности мощности излучения требуется поставить в соответствие измеряемую температуру поверхности с мощностью падающего на поверхность излучения. Выполнив измерения абсолютного значения мощности излучения (например, сапфировым калориметром) и прокалибровав одновременно величину тушения люминесценции, можно затем проводить абсолютные измерения и термочувствительным люминесцентным экраном.

Устройством, в котором измеряется не изменение температуры, а собственно поглощенная энергия терагерцового пучка, является термочувствительный интерферометр видимого диапазона. В этом устройстве регистрируется изменение оптической разности хода для пробного красного излучения полупроводникового лазера при поглощении терагерцового излучения в плоскопараллельной пластинке стекла К8. Зная термооптические характеристики стекла и измерив коэффициент отражения стеклом терагерцового излучения, по изменению интерференционной картины можно легко восстановить в абсолютных единицах распределение плотности мощности терагерцового излучения, падающего на поверхность экрана.

Очень полезной для пользователей является разработанная система автоматического сканирования длины волны генерации ЛСЭ и выдачи ее величины в систему регистрации пользователей. В настоящее время существует возможность сканирования по длине волны когерентного излучения ЛСЭ. Эта возможность реализована через программу управления магнитной системой, в которую встроен сервер удаленного управления Eric's Channel Access.

Как известно длина волны излучения выражается следующей формулой:

$$\lambda = \frac{d}{2\gamma^2} \left( 1 + \frac{k^2}{2} \right),$$

где

$\lambda$  – длина волны излучения,

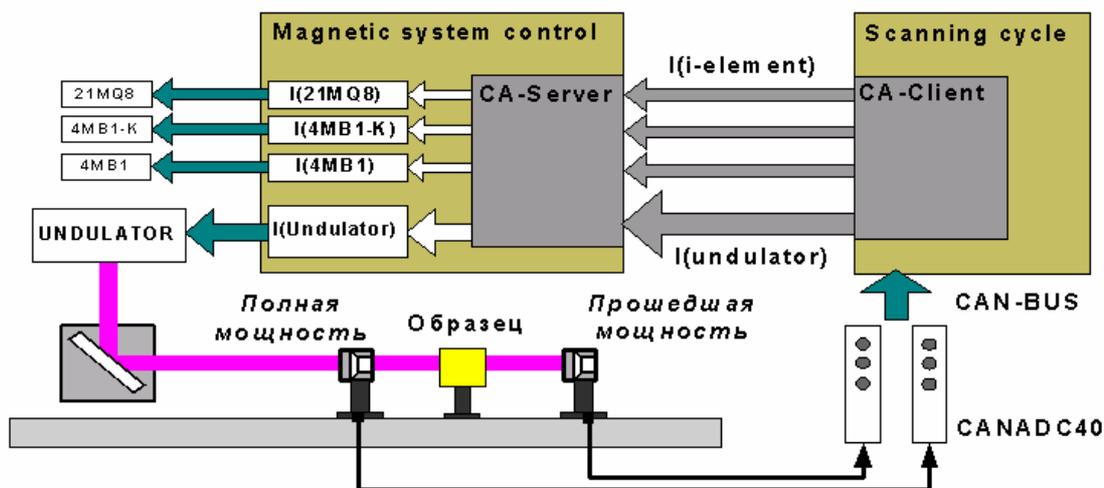
$d$  – период ондулятора,

$\gamma$  – релятивистский фактор электронов,

$k$  – параметр ондуляторности,  $k = k_0 \cdot I$ , где  $I$  – ток в обмотках ондулятора,

$k_0$  – коэффициент пропорциональности.

Схема алгоритма сканирования приведена на рисунке 15.



**Рис. 27.** Система автоматического сканирования длины волны генерации ЛСЭ.

Клиентская программа организует цикл пошаговой перестройки тока ондулятора в заданных пределах и с заданным шагом. Одновременно с перестройкой тока ондулятора посылаются запросы на перестройку ещё нескольких магнитных элементов, если это необходимо для установки нужной длины волны. После отправки запросов на перестройку токов в программе заложена пауза в 3 секунды, которая необходима для установления поля в ондуляторе. После этого производится измерение интенсивности. При этом производится измерение как полной (падающей) мощности излучения, так и поглощенной в образце или прошедшей мощности излучения. Искомый спектр получается при нормировке полученной зависимости второй величины от тока ондулятора на первую (полную мощность), так как в процессе цикла измерения она может слабо меняться. В настоящее время возможный диапазон сканирования по току ондулятора составляет 700-1800 А. Это соответствует диапазону длин волн в 117-160 мкм.

Использование для управления терагерцовым излучением киноформных элементов представляется весьма перспективным. Действительно, в терагерцовом диапазоне крайне трудно найти не поглощающие излучение материалы для пропускающей оптики. К тому же, поскольку в терагерцовом диапазоне длины волн составляют 0.1 – 0.2 мм, изготовление киноформных элементов здесь существенно проще, чем для видимого диапазона. Мы провели первые испытания отражающих под углом 45° зонных пластинок Френеля. Они представляли собой эллиптическую структуру, вытравленную на фольгированном гетинаксе размером до 14 см. Даже это простейшее устройство позволило сфокусировать излучение в пятно размером менее 1 мм. Их дифракционная эффективность в простейшей конфигурации очень мала, но высокая интенсивность излучения

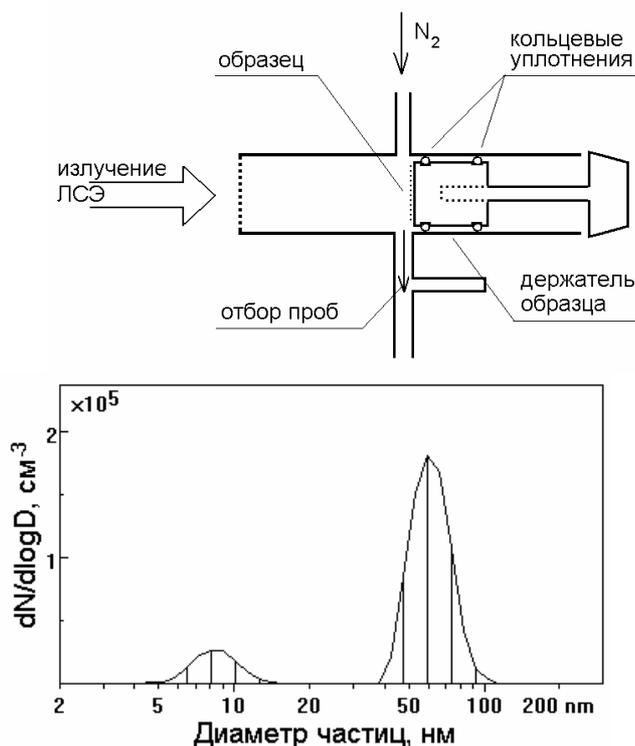
ЛСЭ, тем не менее, позволяет использовать их для построения изображений. Если же изготовить их в виде фазового отражательного элемента (что, очевидно, не представляет проблемы при использовании станков с ЧПУ), то эффективность может возрасти почти до 100%.

### 3.6. Некоторые результаты, полученные в 2005 году.

#### Мягкая абляция биологических макромолекул под действием субмиллиметрового излучения (ИЯФ СО РАН, ИХКиГ СО РАН, ИЦиГ СО РАН).

Целью работы было исследование абляции («возгонки материала без плавления») образцов, содержащих «биологические» молекулы (ДНК, белки и т.п.), излучением лазера на свободных электронах. Основная идея состояла в том, что благодаря крайне малой энергии кванта в терагерцовом спектральном диапазоне окажется возможным «испарить» молекулы без их разрушения.

Оказалось, что при правильном подборе плотности мощности излучения можно достичь режима, при котором происходит «испарение» молекул без их разрушения. Этот эффект четко виден на Рис. 28 для случая, когда мишень состояла из двух различающихся по размеру в 10 раз молекул ДНК. Нужно заметить, что при абляции с помощью лазеров с длиной волны от ультрафиолета до 10 мкм никому не удавалось избежать дефрагментации биологических молекул. Этот результат может привести к созданию новых биотехнологий.



**Рис. 28.** Вверху: схема эксперимента по мягкой абляции; внизу: распределение по размерам аэрозольных частиц, образующихся в результате мягкой абляции кольцевой ДНК плазмиды pBScript (3.6 тнп) и ДНК фага (48 тнп).

#### Визуализация изображений и голография в терагерцовом диапазоне. (ИЯФ СО РАН).

Важной составляющей развития инструментария для исследований на Новосибирском ЛСЭ была разработка методов визуализации, описанных выше. Эти методы

были апробированы в уникальных экспериментах по демонстрации возможности записи голограмм в терагерцовом диапазоне. Были записаны голограммы двух типов: простейшая габоровская голограмма при отражении гауссовского пучка ЛСЭ от сферического зеркала с малым отверстием в центре зеркала и френелевская голограмма по схеме с делением волнового фронта.

В первом случае были записана точно соответствующая теории система концентрических колец. Во втором случае была записана голограмма статуэтки. Учитывая, что глубина сцены (четыре сантиметра) превышала длину когерентности излучения ЛСЭ (около двух сантиметров), результат восстановления достаточно хорошо воспроизвел оригинал. Это даёт основание перейти к созданию голографических схем, которые позволят проводить детальные исследования отражающих, а также частично прозрачных для терагерцового излучения объектов. В частности, это представляет интерес для интроскопии конденсированных сред, исследования их деформации и разрушения, исследования газовых потоков. Другой областью применения голографии может быть исследование порошков и фазовых объектов. Учитывая высокую частоту повторения лазерных импульсов и возможность выделения двух импульсов с произвольной задержкой, начиная от 90 нс (а при делении волнового фронта одного импульса и короче), возможна запись двух последовательных голограмм и получение «двухэкспозиционной» голограммы. Возможность плавного изменения длины волны лазера позволяет записать ряд голограмм при нескольких длинах волн, а значит, получать спектрально селективные голограммы.

### **3.7. Развитие Центра фотохимических исследований на базе ускорителя-рекуператора и ЛСЭ второй очереди на область 3 – 10 ТГц.**

#### **Вторая очередь ускорителя-рекуператора и ЛСЭ.**

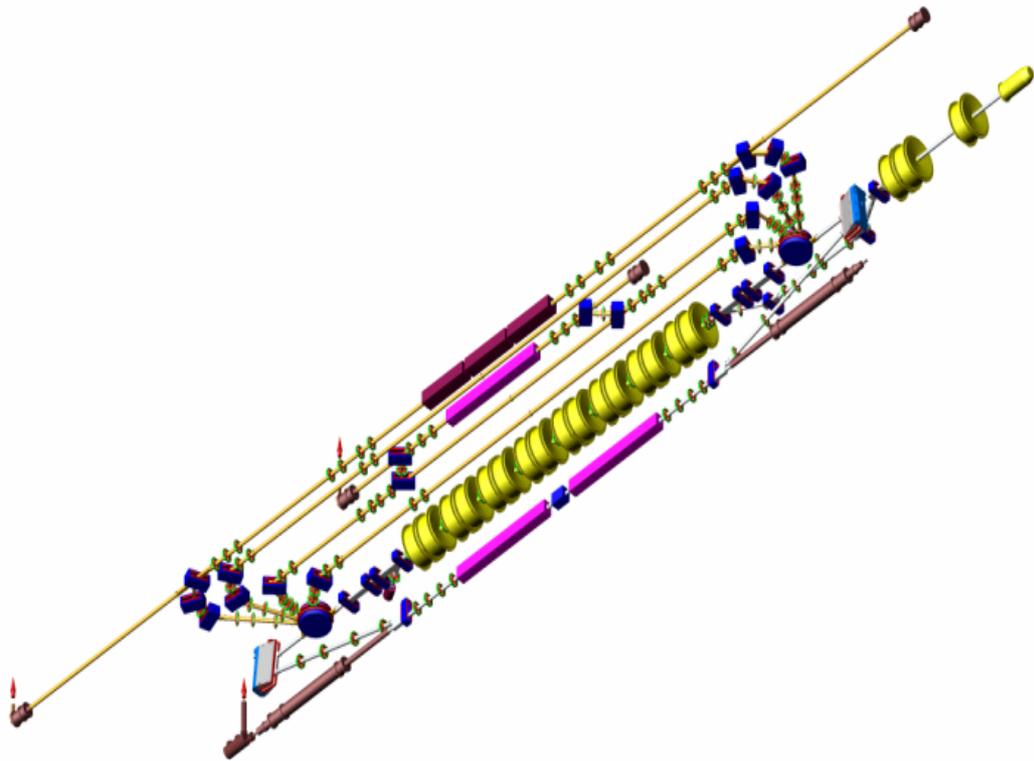
Ускоритель-рекуператор (УР) второй очереди использует ту же ускоряющую ВЧ-структуру, что и УР первой очереди, но расположен, в отличие от последнего, в горизонтальной плоскости (Рис. 29). Таким образом, не требуется демонтаж одного для постройки другого. Выбор режима работы осуществляется простым переключением поворотных магнитов.

Ускоритель-рекуператор второй очереди (Рис. 30) построен по схеме разрезного микротрона, причем рекуперация энергии электронного пучка происходит по той же схеме, что и ускорение, но фазы пролёта ускоряющей структуры отображаются зеркально.

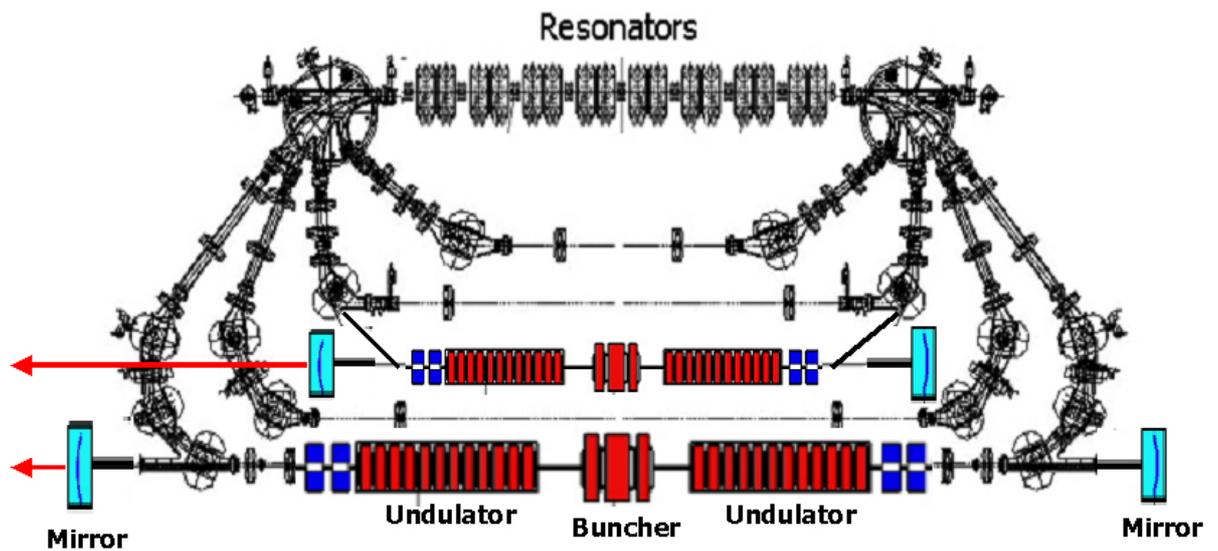
#### **Основные проектные параметры полномасштабного УР следующие:**

Энергия инжекции полная, МэВ	2;
Максимальная энергия пучка, МэВ	40;
Максимальная частота повторения, МГц	90;
Максимальный средний ток пучка, мА	150.

В дальнейшем планируется установить на последнюю (40 МэВ) дорожку УР мощный ЛСЭ ближнего ИК диапазона в области длин волн 5 – 12 мкм, а на вторую дорожку (байпас) еще один ЛСЭ с диапазоном 40 – 100 мкм. Ожидаемая средняя мощность каждого ЛСЭ – 10 кВт.



**Рис. 29.** Схема полномасштабного ускорителя-рекуператора, включающая 1-оборотный УР первой очереди, расположенный в вертикальной плоскости, и 4-оборотный ускоритель-рекуператор второй очереди, расположенный в горизонтальной плоскости.



**Рис. 30.** Схема ускорителя-рекуператора второй очереди.

#### РАСЧЕТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЛСЭ

ЛСЭ второй дорожки установлен на байпасе. Если магниты байпаса выключены, то пучок проходит вдоль оси второй дорожки и продолжает ускоряться. Если же магниты включены, то пучок проходит через ЛСЭ второй дорожки. Длина траектории в этом случае на 66 см больше, поэтому «отработанный» пучок приходит в высокочастотные резонаторы УР позже и замедляется. Для ЛСЭ второй дорожки была выбрана схема близкая к ЛСЭ первой очереди. Период ондулятора  $d = 120$  мм выбран с учетом энергии

электронов (15 – 20 МэВ) и диапазона перестройки длины волны излучения (40 – 100 микрон). Полная длина ондулятора – около 4 м. Она ограничена из-за механических проблем (жёсткости и трудности изготовления длинного магнитопровода с требуемой точностью).

На основании численного решения уравнений для усиления слабого сигнала проведен расчёт усиления в таком ЛСЭ при разных параметрах основной моды оптического резонатора. Усиление должно превышать потери в оптическом резонаторе, которые зависят от коэффициента отражения зеркал. Многослойные диэлектрические зеркала имеют высокие значения коэффициента отражения, но узкополосны и могут не выдержать большой (порядка 100 кВт) средней мощности в оптическом резонаторе, поэтому в настоящее время предполагается использовать медные зеркала с золотым покрытием.

Разработана программа, моделирующая работу ЛСЭ с относительно короткими электронными сгустками. Проведена проверка программы с использованием экспериментальных данных (спектра излучения, зависимости мощности от длины оптического резонатора и др.), полученных на первой очереди ЛСЭ.

После завершения проверки работы программ была проведена оптимизация оптической системы для второй очереди ЛСЭ. Расчётная средняя мощность излучения превышает 1 кВт при относительной ширине линии менее 1% и пиковой мощности несколько МВт. При длине ондулятора  $L_u = 4$  м, получим минимальную апертуру вакуумной камеры ондулятора  $2\sqrt{\lambda L_u}$ . Для максимальной длины волны 100 микрон это составит 40 мм. С учетом увеличенной длины Рэлея, а также для снижения требований к точности геодезической выставки элементов вакуумной камеры, была выбрана апертура 60 мм, а зазор между полюсами ондулятора – 70 мм.

#### КОНСТРУКЦИЯ ОНДУЛЯТОРА

Так как период ондулятора довольно велик, то можно применить электромагнитную конструкцию. Расчёты поля были проведены с использованием программы MERMAID, разработанной в ИЯФ. Они позволили выбрать ширину полюсов, при которой амплитуда поля мало отличается от случая бесконечной ширины.

Серьёзной проблемой является сильная вертикальная фокусировка в ондуляторе. Фокусировка может быть количественно охарактеризована величиной согласованной бета функции

$$\beta = \frac{\gamma d}{\sqrt{2\pi K}}$$

для энергии  $E = 20$  МэВ и параметра ондуляторности  $K = 1$   $\beta = 0.5$  м. Несколько усложнив конструкцию ондулятора можно обеспечить увеличение  $\beta$  в 1.5–2 раза и получить горизонтальную фокусировку. Численные расчёты поля в модифицированном ондуляторе позволили найти оптимальную форму полюсов (см. прилагаемый чертеж). Эта форма обеспечивает одинаковую фокусировку по вертикали и по горизонтали, а также минимальную нелинейность фокусировки.

Для зануления первого и второго интегралов вертикального поля на концах ондулятора зазор в двух первых и двух последних парах полюсов может изменяться при помощи вертикального смещения полюсов. Кроме того, первые и последние полюса охвачены одним витком тока, а не двумя, как все остальные полюса. На каждом краю ондулятора установлено по два корректора, создающих вертикальное магнитное поле.

#### ОПТИЧЕСКИЙ РЕЗОНАТОР

По заданной длине ондулятора (4 м) можно сразу найти «оптимальную» длину Рэлея для оптического резонатора – 2 м. Такая длина Рэлея обеспечивает минимальные поперечные размеры основной моды оптического резонатора на концах вакуумной камеры ондулятора.

Полная длина оптического резонатора (т.е. расстояние между его зеркалами)  $L$  определяется из условия синхронизации продольных мод

$$\frac{2L}{c} = \frac{n}{f_0},$$

где  $c$  – скорость света,  $f_0$  – частота следования электронных сгустков,  $n$  – целое число. Для существующей электронной пушки ускорителя-рекуператора  $f_0 = 22.5$  МГц, поэтому

$$L = n \cdot 6647 \text{ мм.}$$

Для снижения интенсивности излучения на поверхности зеркал оптического резонатора следует выбрать максимальную длину резонатора. Поэтому была выбрана максимально доступная длина 20 м.

При больших отношениях  $L$  к длине Рэлея ужесточаются допуски на угловую юстировку зеркал. Для симметричного оптического резонатора с зеркалами радиуса  $R$  разъюстировка одного из зеркал на угол  $\Delta\theta$  приводит к смещению оптической оси на противоположном зеркале на

$$\Delta x = \frac{R^2}{2R - L} \Delta\theta.$$

С другой стороны, длина Рэлея определяется по формуле

$$z_0 = \frac{1}{2} \sqrt{L(2R - L)},$$

следовательно,  $\Delta x \approx \frac{L^3}{16z_0^2} \Delta\theta$ . Учитывая, что для основной моды излучения с длиной

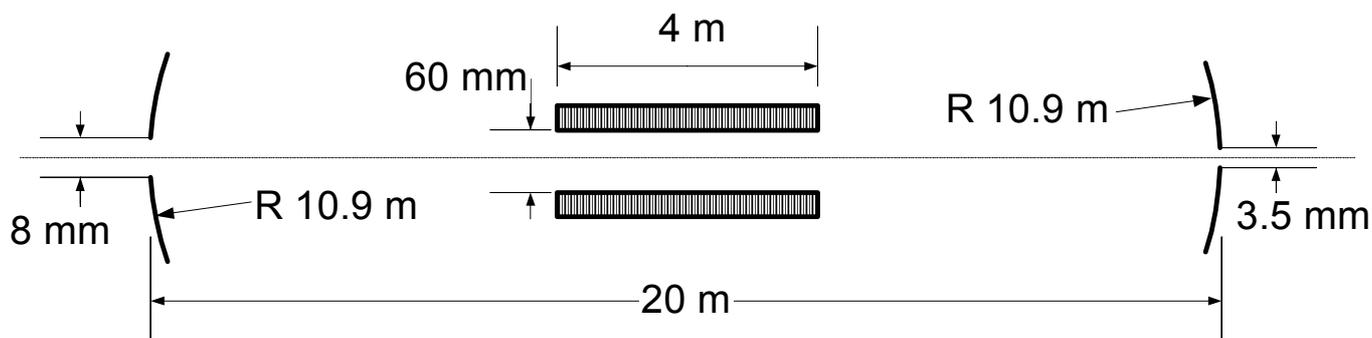
волны  $\lambda$  среднеквадратичный размер на зеркале равен  $\sqrt{\frac{\lambda}{4\pi} \left( z_0 + \frac{L^2}{4z_0} \right)}$ , получим требование на точность установки угла

$$\Delta\theta < \frac{z_0^2}{L^2} \sqrt{\frac{\lambda}{4\pi z_0}}.$$

При  $z_0 = 2$  м и  $\lambda = 40$  микрон имеем  $\Delta\theta < 1 \cdot 10^{-5}$ , что находится в пределах возможностей коммерческих держателей зеркал.

Представляется целесообразным несколько увеличить длину Рэлея по сравнению с «оптимальной». Например, выбрав  $R = 10,9$  м, получим  $z_0 = 3$  м. При  $\lambda = 100$  микрон среднеквадратичные размеры моды на краях ондулятора и на зеркалах равны, соответственно, 6 мм и 17 мм. Чтобы дифракционные потери были малы, диаметр отражающей поверхности зеркала должен превышать среднеквадратичный размер не менее, чем в шесть раз. Учитывая возможность работы на длинах волн более 100 микрон, а также добавочные 10 мм для крепления зеркала, можно выбрать диаметр зеркала равным 160 мм. Заданное значение радиуса кривизны зеркала должно быть выдержано с точностью  $\pm 0.1$  мм.

Схема оптимизированного оптического резонатора показана на Рис. 31. Она близка к схеме уже существующего резонатора ЛСЭ на 1-3 ТГц.



**Рис. 31.** Схема оптического резонатора ЛСЭ второй очереди.

Серьёзной проблемой является изменение радиуса кривизны зеркал вследствие их нагрева излучением. Для расчета этого эффекта была создана специальная программа. С её помощью ведется оптимизация толщины зеркала и формы охлаждающих деталей.

### 3.8. Рабочее совещание по терагерцовому излучению.

По результатам работы было проведено Первое рабочее совещание «Генерация и применение терагерцового излучения» (Новосибирск, 24 – 25 ноября 2005 года). На Совещании были заслушаны и обсуждены 22 доклада, охватывающие все темы, входящие в Программу, а также целый ряд исследований, выполненных вне рамок Программы. В настоящее время заканчивается подготовка к печати сборника трудов Рабочего совещания. Общее число публикаций по программе составляет 72, не считая работ направленных в печать.

#### ИСТОЧНИКИ ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Первая группа из шести проектов была посвящена разработке источников терагерцового диапазона. Создание источников терагерцового излучения различного типа, отличающихся по спектру, мощности и режиму работы, является одной из важнейших задач, обеспечивающей дальнейшее развитие этой области науки и эффективность ее приложений. Поскольку терагерцовый диапазон лежит между областями электроники и фотоники, в нём оказывается возможным использовать методы генерации излучения, характерные для обоих спектральных интервалов.

**Проект «Разработка оротронов субмиллиметрового диапазона (ИПФ РАН)».** Продемонстрирована возможность работы оротрона в непрерывном режиме на частоте 140 ГГц с выходной мощностью 200 мВт. Разработан оротрон, рассчитанный на работу в диапазоне частот 0,2-0,4 ТГц. Проведено экспериментальное исследование этого генератора в длинноволновой части диапазона.

**Проект «Разработка импульсных и непрерывных гиротронов диапазона 0.3-1.0 ТГц (ИПФ РАН)».** Для освоения терагерцового диапазона на высоком уровне мощности необходимо дальнейшее развитие трёх перспективных разновидностей гироприборов с частотами генерации 0,29-0,41 ТГц: традиционный гиротрон на основном циклотронном резонансе с полем 11 Т, обеспечиваемым «сухим» криомагнитом (частота 0,3 ТГц, мощность излучения 3 кВт в непрерывном режиме); гиротрон с большой орбитой на третьей циклотронной гармонике (частоты 0,37-0,41 ТГц, мощность до 20 кВт в режиме микросекундных импульсов); гироумножитель с самовозбуждающейся входной секцией (частота 0,28 ТГц, мощность 30 Вт в непрерывном режиме). Кроме того, разработан гиротрон на основном циклотронном резонансе на частоту генерации 1 ТГц с импульсным полем до 40 Тл. Разработанные методы открывают возможности для создания

эффективных и доступных многим лабораториям мощных гироприборов терагерцового диапазона.

**Проект «Параметрическая генерация излучения терагерцового диапазона в полупроводниковых лазерных диодах и волноводах (ИФМ РАН)».** Рассмотрена возможность создания источников излучения терагерцового и мультитерагерцового диапазонов, в которых будет реализована параметрическая генерация разностной гармоник в двухчастотных лазерах ближнего ИК диапазона (длина волны около 1 мкм.), работающих при температурах вплоть до комнатной, на основе гетероструктур с квантовыми ямами InGaP/InGaAs/GaAs (за счёт решёточной нелинейности второго порядка, связанной с отсутствием центра инверсии в решетке GaAs), а также во внешних полупроводниковых волноводах.

**Проект «Генерация терагерцового излучения путем умножения частоты на полупроводниковых структурах (ИФМ РАН, ИПФ РАН)».** Показана перспективность использования: 1) низкобарьерных диодов Шоттки для чувствительных детекторов субтерагерцового диапазона частот; 2) матриц с торцевыми встречными диодами для создания мощного терагерцового умножителя; 3) искусственной среды на основе массивов металлических кластеров внедрённых в полупроводниковую матрицу для целей оптической генерации и преобразования ТГц-ИК излучения. Разрабатывается измерительный стенд для исследования характеристик приборов ТГц диапазона

**«Проект для второй очереди лазера на свободных электронах на область 3 – 10 ТГц (ИФМ РАН, ИЯФ СО РАН)».** В результате работы спроектированы основные элементы второй очереди новосибирского лазера, запуск которого позволит расширить диапазон генерации от нынешних 120 – 240 мкм до 3 – 300 мкм. Это позволит существенно расширить диапазон исследований, включая высокочастотную часть терагерцового диапазона.

**Проект «Оптические методы генерации когерентных сверхширокополосных терагерцовых импульсов (ИПФ РАН)».** Представлены результаты по генерации и регистрации сверхкоротких импульсов электромагнитного излучения в терагерцовом диапазоне длин волн оптическими методами. Приведен сравнительный анализ эффективности генерации и детектирования при использовании импульсов титан-сапфирового лазера с относительно высокой энергией (2 мДж) и низкой частотой повторения (1 кГц), а также с низкой энергией (10 нДж) и высокой (70 МГц) частотой повторения. Достигнута спектральная ширина импульса около 1,5 ТГц.

#### **РАЗРАБОТКА ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ОСНОВ ПРИЛОЖЕНИЙ ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

Вторая группа работ посвящена разработке элементной базы и технологиям, обеспечивающим возможность развития терагерцовой науки и технологий. Прежде всего, это детекторы терагерцового излучения как одноэлементные, так и матричные. Другим очень важным достижением является разработка технологии выращивания искусственных алмазов, что дает возможность выводить мощное терагерцовое излучение из источников и использовать их для разделения сред в технологических устройствах.

**Проект «Разработка и создание сверхпроводниковых элементов и интегральных приемных устройств с рабочими частотами до 1 ТГц (ИРЭ РАН)».** Основной целью проекта является разработка и исследование интегральных приёмных сверхпроводящих структур терагерцового диапазона с чувствительностью, ограниченной лишь квантовыми эффектами. Была предложена и экспериментально апробирована принципиально новая концепция построения полностью сверхпроводникового интегрального приёмника субмиллиметровых волн для космической и наземной радиоастрономии, а также мониторинга окружающей среды. Интегральный приёмник состоит из одной сверхпроводниковой микросхемы и включает в себя СИС-смеситель, приёмную

планарную квазиоптическую антенну и сверхпроводниковый генератор гетеродина на основе распределённого туннельного перехода (ФФО).

**Проект «Исследование и разработка технологии высокоскоростного выращивания поликристаллических алмазных плёнок и пластин, основанной на использовании газового разряда в пучках миллиметровых волн (CVD-технология) (ИПФ РАН)».** Проведена серия экспериментов по осаждению алмазных плёнок на кремниевые подложки диаметром 60 и 75 мм в газовой смеси Ar/H<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub> при варьировании давления и состава газовой смеси, скорости газовых потоков и температуры подложки. Получены высокие скорости роста алмазных плёнок до 9 микрон в час. Проведено сравнение результатов выращивания алмаза в 2,45 ГГц и 30 ГГц МРАСVD реакторах. Показано, что скорость роста алмазных плёнок в 30 ГГц реакторе в 5-7 раз выше, чем скорость роста в 2,45 ГГц реакторе при одинаковых рабочих параметрах. Экспериментально подтверждена возможность использования технологии высокоскоростного выращивания алмазных плёнок из газовой фазы на 30 ГГц CVD реакторе для получения толстых высококачественных алмазных пластин. Получены экспериментальные образцы алмазных пластин диаметром 60 мм и толщиной 0,13 мм, диаметром 75 мм и толщиной 0,65 мм. Обе пластины отличаются высоким качеством, однородностью поверхности роста и толщины.

**Проект «Субмиллиметровый матричный радиометр на высокочувствительных болометрах (ИРЭ РАН, ИПФ РАН)».** Цель создания высокочувствительных субмиллиметровых матричных радиометров – установка их на телескопах наземного и космического базирования для проведения астрономических наблюдений и измерений. За 2005 год была отработана технологии изготовления болометров с использованием электронного литографа, создан низкотемпературный лабораторный стенд, разработана топология элементов и матриц болометрических приёмников. Достигнутая на сегодняшний день ширина болометра, входящего в состав приёмного элемента, составляет 0,3 мкм.

**Проект «Разработка и исследование сверхвысокочувствительного болометра на разогреве электронов в нормальном металле при сверхнизких температурах (ИРЭ РАН, ИПФ РАН)».** Разработан и исследован компактный криостат растворения для охлаждения до 50 мК сверхвысокочувствительных микроболометров терагерцового диапазона. Разработаны и проверены электронные схемы измерения характеристик таких болометров при сверхнизких температурах.

## 4. Разработка и создание специализированных генераторов СИ.

### 4.1 Сверхпроводящие вигглеры.

В 2005 году активно продолжались контрактные работы по разработке и изготовлению различных сверхпроводящих криогенно-магнитных систем для генерации СИ.

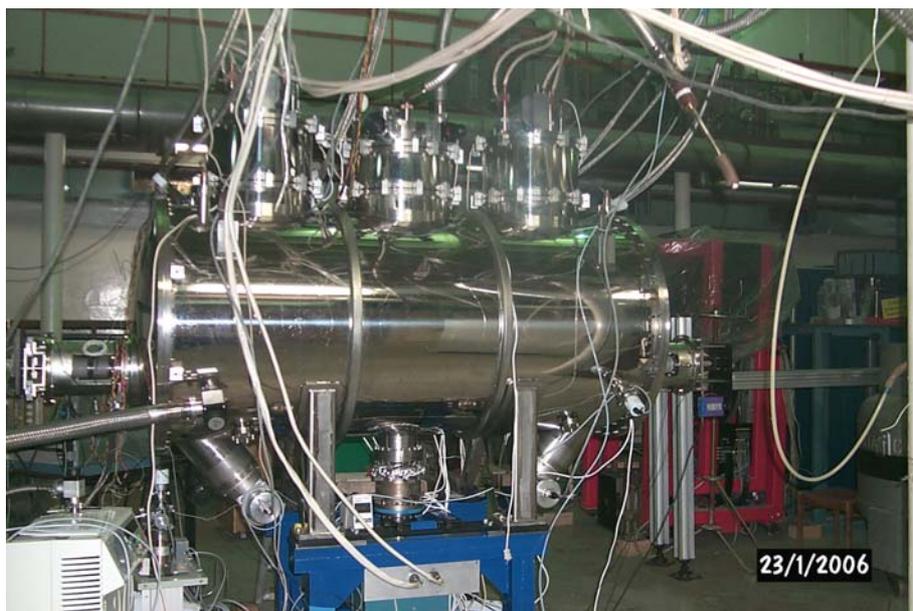
1. В январе 2005 был доставлен и собран на территории накопителя CLS (Canadian Light Source, г. Саскатун, штат Саскачеван) 63-полюсный вигглер с очень коротким периодом – 34 мм, межполюсным зазором 13.5 мм и магнитным полем 2.2 Тл. После заключительных испытаний и проведения цикла магнитных измерений вигглер был установлен на накопитель и активно используется для экспериментов по дифракции, XAFS, DAFS и микроскопии в области энергий 4-40 КэВ. Одной из особенностей данного генератора СИ является то, что для сглаживания спектра в области низких энергий фотонов (4-10 КэВ) была преднамеренно нарушена регулярность периода магнитных полюсов, так что величина периода находится в диапазоне от 33 до 34 мм. Другая особенность магнитной системы данного вигглера состоит в том, что были достигнуты предельно возможные параметры использованного сверхпроводящего провода, и ток в обмотках приблизился к теоретическому пределу – току короткого образца. Также на данном вигглере впервые был получен нулевой расход жидкого гелия, благодаря удачно найденному техническому решению по использованию холодильных машин – реконденсоров.



**Рис. 32.** 63-полюсный вигглер с полем 2.2 Тл на накопителе CLS (Канада).

2. В начале 2005 был спроектирован и в апреле 2005 испытан «короткий» прототип магнитной системы многополюсного вигглера для строящегося накопителя DLS (DIAMOND Light Source, Англия). В декабре 2005 уже была завершена сборка в собственном криостате полноразмерного 49-полюсного вигглера с периодом 60 мм, магнитным полем 3.7 Тл и межполюсным зазором 16 мм. В данном вигглере был вновь достигнут нулевой расход потребления жидкого гелия. В марте 2006 начнётся сборка и цикл испытаний вигглера на территории накопителя DLS, а в сентябре

2006 запланирована установка и запуск его непосредственно на накопительном кольце.



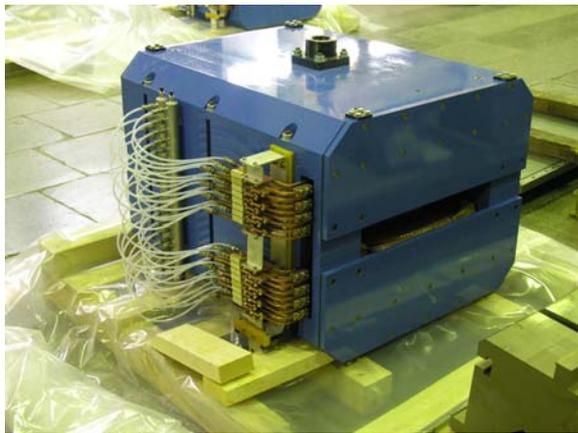
**Рис. 33.** Испытания 49-полюсного вигглера с полем 3.7 Тл для накопителя DIAMOND.

3. В 2005 году было начато проектирование магнитной системы 21-полюсного вигглера с полем 7.5 Тл и периодом 164 мм для накопителя “Сибирь-2” (РНИЦ “Курчатовский институт”, Москва). В июле 2005 был изготовлен и успешно испытан «короткий» прототип, на котором было достигнуто максимальное магнитное поле 7.7 Тл. Данный вигглер будет являться самым мощным в мире среди устройств такого рода. Полная мощность СИ составит ~100 кВт. В декабре 2005 было закончено изготовление всех магнитных полюсов для полноразмерного вигглера. Испытание его на собственном магнитопроводе в экспериментальном криостате намечено на февраль 2006.

#### **4.2. Несверхпроводящие системы для источников СИ.**

Для источника СИ SLS (PSI, Швейцария) изготовлены и измерены 12 магнитных элементов (два быстрых корректора, четыре медленных корректора, три квадрупольных линзы, три отклоняющих магнита).

Проведены магнитные расчёты и изготовлены чертежи вигглера-затухателя на постоянных магнитах для ускорителя-источника СИ PETRA-3 (DESY, Германия). Период  $\lambda = 200$  мм, зазор  $h = 24$  мм, длина  $L = 4000$  мм, максимальное поле  $B = 1.6$  Тл. Изготовлен полномасштабный прототип вигглера-затухателя на постоянных магнитах для PETRA-3 DESY. Закончено изготовление 174 секступольных магнитов для источника СИ Diamond (Англия). Закончено изготовление трёх электромагнитов (супербенд) с максимальным полем 3 Тл в зазоре  $h = 39$  мм для SLS (PSI, Швейцария).



**Рис. 34.** Отклоняющий магнит для источника СИ SLS (PSI., Швейцария).



**Рис. 35.** Супербенд с полем 3 Тл для SLS (PSI., Швейцария).



**Рис. 36.** Магнитные измерения секступольной линзы для Diamond.

### **Магнитная система для метрологического источника света.**

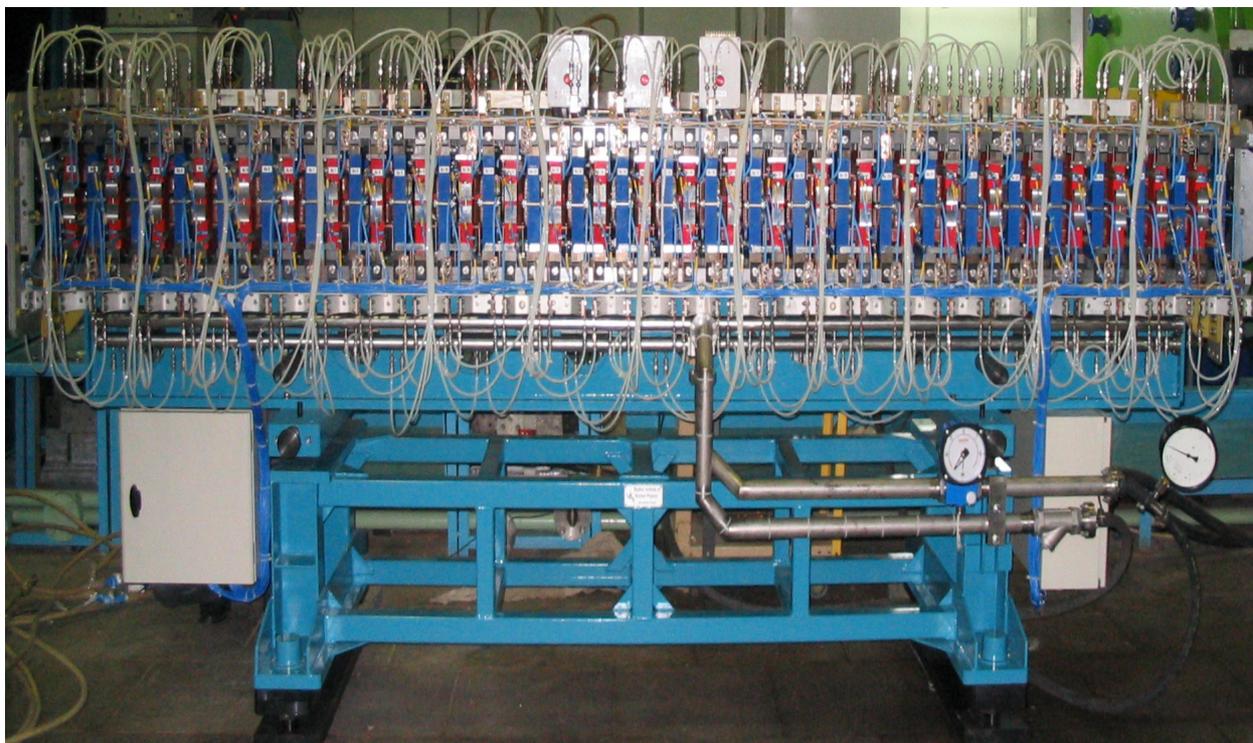
В 2005 году продолжались контрактные работы по созданию магнитной системы (8 поворотных магнитов, 24 квадруполей, 24 секступолей, 4 октуполей) для метрологического источника света – накопительного кольца на энергию 600 МэВ, строящегося в Берлине на базе института метрологии (Германия).

Высокие требования к точности изготовления ( $\pm 20\text{-}30$  мкм для полюсной области) потребовали привлечения ведущих специалистов института, работы проводились в тесном сотрудничестве между подразделениями. В начале 2006 года изготовленные магнитные элементы должны быть поставлены заказчику и в течение 2006 года установлены на накопительном кольце.

### **Эллиптические ондуляторы NU256 для Synchrotron Soleil.**

В 2005 году была завершена контрактная работа по созданию трёх эллиптических ондуляторов с периодом 256 мм для источника синхротронного излучения Soleil (Франция). Электромагнитные ондуляторы имеют закрытую структуру вертикального (0.44 Тл) и горизонтального (0.33 Тл) магнитных полей, формируемых 12 полными и 2 корректирующими периодами при полной длине ондулятора 3,6 метра. На основе расчётов и тестовых магнитных измерений была выполнена оптимизация расстановки диполей (sorting), что позволило улучшить магнитные параметры ондуляторов.

В рамках контрактной работы по магнитным измерениям ондуляторов была разработана специализированная система на основе датчиков Холла. Точность измерения магнитных полей ( $\leq 0,15$  Гс) позволяет «измерять» первый интеграл с точностью не хуже  $\pm 50$  Гс. см. Изготовленные ондуляторы были переданы заказчику, где прошли успешные повторные измерения датчиками Холла и «подвижной струной». В первой половине 2006 года эллиптические ондуляторы NU256 будут установлены на станциях “Cassiopee”, “Pleiades”, “Antares”.

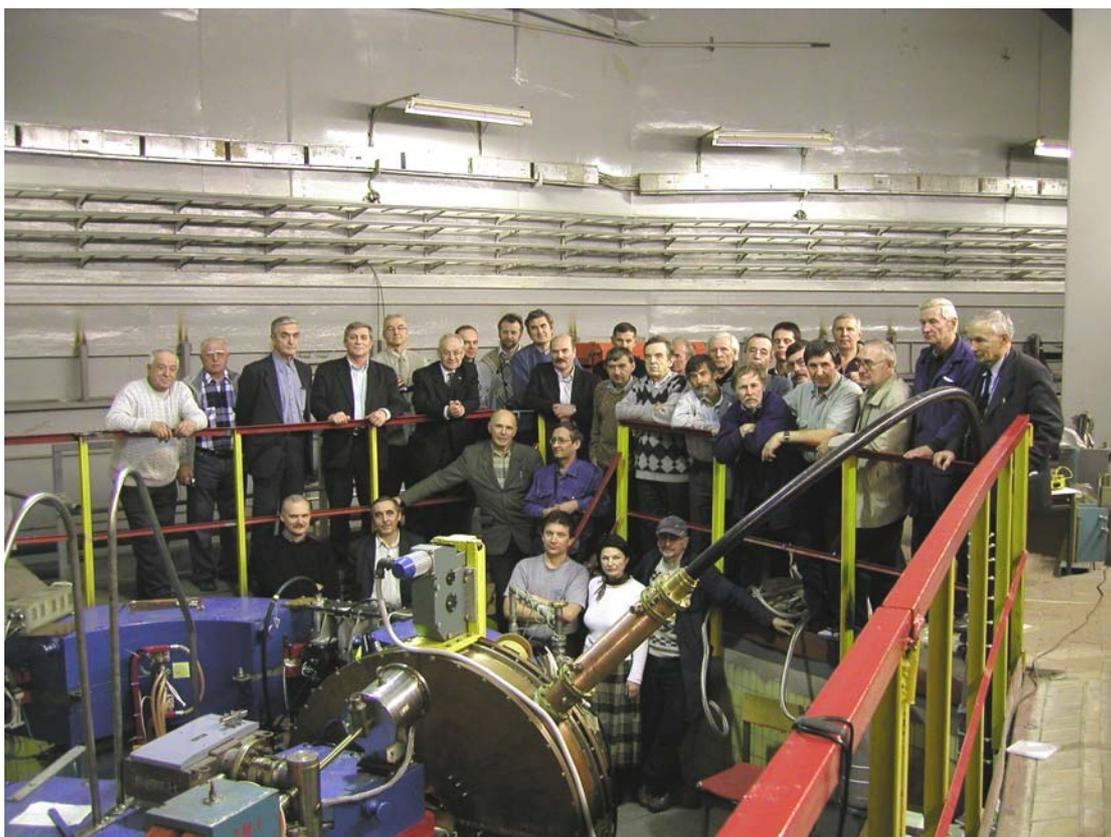


**Рис. 37.** Эллиптический ондулятор NU256 для Synchrotron Soleil (Франция).

### **Технологический накопительный комплекс (ТНК).**

В 2005 году продолжались работы на накопителе-источнике СИ для научно-производственного центра микроэлектроники и микромеханики (г. Зеленоград). К началу года были смонтированы основные системы бустерного кольца, и в течение года про-

водились работы с пучком. К концу года были получен захват и ускорение электронного пучка в бустерном кольце.



**Рис. 38.** Команда ИЯФ-КИСИ-НИИФП после успешного запуска бустерного кольца в Зеленограде (декабрь 2005 г.).

### **4.3. Проект компактного накопителя-источника СИ.**

Отсутствие специализированного источника СИ в Сибирском центре синхротронного излучения является главным препятствием для дальнейшего развития исследовательских методов с использованием СИ. Главной проблемой является сильная конкуренция между различными исследовательскими программами на накопительном комплексе ВЭПП-3/ВЭПП-4. Несмотря на ограниченное выделение времени для работы в режиме, удобном для пользователей центра СИ, интерес сторонних пользователей к методикам с использованием СИ постоянно растёт. Поэтому вопрос о создании специализированного накопителя для генерации СИ встал в полной мере.

В 2002-2004 г. в ИЯФ был разработан и изготовлен прототип сверхпроводящего поворотного магнита для накопителя BESSY-II (Берлин, Германия) с полем до 9 Тл. Использование таких магнитов позволяет реализовать компактную схему накопителя с достаточно невысокой энергией электронов (около 1 ГэВ). При этом высокое значение магнитного поля в поворотных магнитах позволяет получать СИ с достаточно жёстким спектром, позволяющим реализовать большинство популярных рентгеновских методов с использованием СИ. С экономической точки зрения, высокая стоимость магнитной системы такого накопителя компенсируется уменьшением стоимости системы инжекции и ВЧ системы и резким уменьшением затрат на строительство инфраструктуры комплекса.



**Рис. 39.** Сверхпроводящий поворотный магнит с полем до 9.6 Тл во время испытаний (BESSY-II, Берлин, Германия, июнь 2004 г.)

Одним из самых важных параметров такой системы является жёсткость спектра СИ. Мировой опыт использования синхротронного излучения в различных центрах СИ показывает, что большинство востребованных исследовательских методов используют рентгеновское излучение с энергией фотонов до 40 – 50 кэВ.

Существует ряд интроскопических методов требующих энергии рентгеновских квантов до 120 кэВ. Такие требования возникают в медицинской и технологической рентгенографии и томографии. Однако простых и дешевых способов генерации мощного потока квантов с такой энергией пока не найдено, поэтому эти задачи придётся исключить из списка реализуемых методов на подобных накопителях.

Необходимо также отметить, что, несмотря на постоянно возрастающий интерес пользователей к жёсткому рентгеновскому диапазону, продолжается развитие исследовательских и технологических методов в мягком рентгеновском диапазоне. Например, относительно новый метод массового производства микроизделий (LIGA-технология) основан на использовании синхротронного излучения с характерной энергией около 2 кэВ. Поэтому правильная стратегия в выборе схемы для компактного накопителя должна предусматривать возможность организации каналов вывода СИ как с жёстким, так и с мягким спектром.

Для реализации таких требований наиболее адекватно подходит комбинированная структура магнитной системы, включающая в себя как сверхпроводящие, так и обычные «тёплые магниты». Преимуществом схемы является возможность избавиться от излишней «компактизации» накопителя, и, следовательно, обеспечить достаточную конструкторскую свободу для организации каналов вывода СИ.

Из общих соображений можно также определить оптимальное количество сверхпроводящих магнитов в структуре. Большое количество таких магнитов приведёт к существенному увеличению стоимости всего комплекса, а малое – ухудшит симметрию кольца и создаст проблемы неустойчивости пучка из-за возникновения опасных резонансов. По-видимому, наиболее оптимальное количество сверхпроводящих магнитов в кольце должно быть равным 4 (или 3 в кольцах с симметрией, кратной 3).

Энергия электронов в накопителе может быть в пределах от 1 до 1.5 ГэВ, что тоже является близким к оптимуму по организации системы инжекции и биозащиты. При этом в сверхпроводящих магнитах с полем 8.5 Тл критическая энергия квантов СИ будет около 10 кэВ, что обеспечивает достаточный поток фотонов для реализации вышеотмеченных методик в области спектра до 40 кэВ. Кроме того, используя «тёплые» магниты

для генерации СИ в мягком рентгеновском диапазоне, можно вполне успешно покрыть нужды пользователей и в этой спектральной области.

Если энергия электронов равна 1.5 ГэВ и эффективная магнитная длина сверхпроводящего магнита с полем 8.5 Тл равна 20 см, угол поворота пучка в магните будет около 20°. Это означает, что из магнита можно вывести без больших конструкторских проблем 3-4 канала для транспортировки пучка СИ. Таким образом, эффективность использования ресурсов накопителя может быть весьма высока.

Можно определить некоторые требования на величину фазового объема пучка (эмиттанса). Несмотря на то, что в последнее время основным направлением в эволюции накопителей – источников СИ прослеживается магистральная тенденция постоянного снижения эмиттанса и увеличения спектральной яркости, в большинстве случаев применения СИ большую значимость имеет поток фотонов, который при всех прочих условиях не зависит от фазового объема пучка. Конечно, для реализации некоторых уникальных методик необходимо иметь большую спектральную яркость, но, как уже утверждалось выше, цель данного проекта – увеличение числа пользователей традиционных методов с использованием СИ. Достижимая в компактной схеме величина эмиттанса накопителя лежит в пределах 16 – 20 нм·рад (для сравнения: в источниках СИ второго поколения – 50 - 100 нм·рад). Так как компактность установки является одним из главных требований, обеспечить меньший фазовый объем без увеличения размеров кольца не представляется возможным. Периметр данного накопителя должен быть в пределах 50 м. Тем самым размер помещения для организации центра может составлять 20 на 20 м, хотя для размещения пользовательских станций необходимо дополнительное место.

### **Возможная структура комплекса.**

#### **Параметры накопителя.**

В данном проекте предлагается использовать комбинированную схему, включающую в себя как сверхпроводящие поворотные магниты, так и обычные. Основные параметры накопителя представлены в Таблице 7.

**Таблица 7.**

Основные параметры компактного накопителя – источника СИ.

Энергия электронов	1.2 ГэВ
Поле в поворотных магнитах	8.5 Тл в сверхпроводящих магнитах 1.9 Тл в обычных (тёплых) магнитах
Критическая энергия квантов СИ	8.6 кэВ для СИ из сверхпроводящих магнитов 1.9 кэВ для пучков из обычных магнитов
Количество поворотных магнитов	4 сверхпроводящих магнита 8 обычных (тёплых) магнита
Угол поворота в магнитах	20° в сверхпроводящих магнитах 35° в обычных (тёплых) магнитах
Фазовый объем пучка	20 нм·рад
Ток пучка	300 – 500 мА
Время жизни пучка	8 - 10 часов
Периметр орбиты	52 м

В проекте предлагается использовать 4 сверхпроводящих магнита. Так как угол поворота в магните достаточно большой (20°), то из каждого магнита можно вывести до 4 каналов вывода жёсткого СИ. Также можно установить по несколько каналов вывода

на тёплые магниты для получения пучков в мягком рентгеновском диапазоне. По сравнению с накопителем ВЭПП-3 поток фотонов увеличится в 10 раз, яркость – в 1000 раз.

### Магнитная структура.

В данном проекте предлагается использовать структуру ТМЕ (Theoretical Minimum Emittance), позволяющую получать предельно низкий эмиттанс для заданного угла поворота пучка в одном магните. Данная схема также позволяет соединить в себе два типа магнитов, – сверхпроводящие и тёплые. Предполагается использовать 4 сверхпроводящих и 8 тёплых магнитов.

Кольцо накопителя включает в себя 2 суперпериода. Каждый суперпериод состоит из четырёх ТМЕ-ячеек на тёплых магнитах и двух «дисперсионных суспенсоров», роль которых выполняют сверхпроводящие магниты. Схема такой конфигурации представлена на рис. 40. Расчётный равновесный эмиттанс в получаемой схеме составляет 24 нм·рад. Дополнительное снижение эмиттанса возможно, если отказаться от нулевой дисперсии в прямолинейных промежутках, а также при использовании тёплых магнитов с совмещёнными функциями.

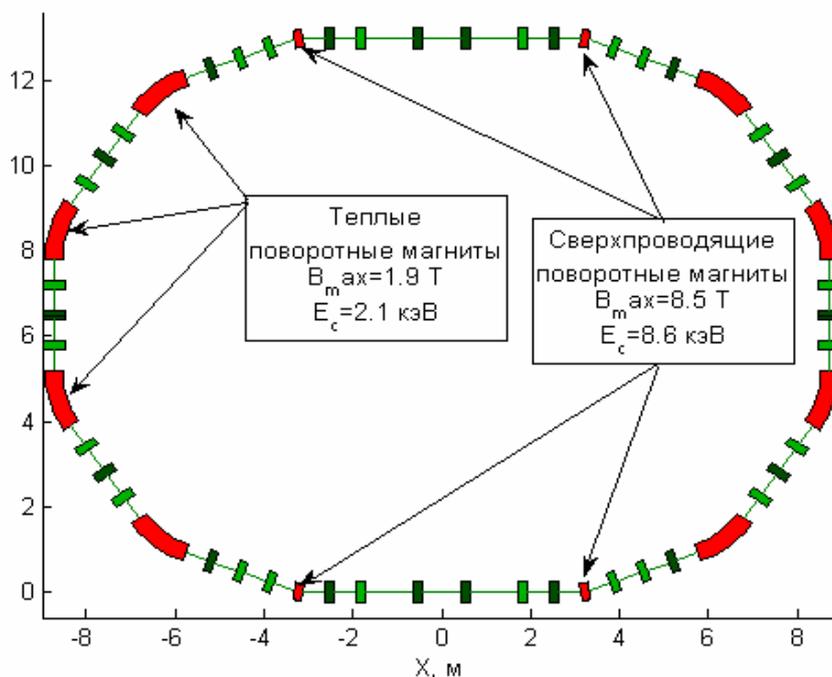


Рис. 40. Схема компактного накопителя-источника СИ.

В данной схеме предусмотрено наличие двух трёхметровых прямолинейных промежутков. Один из них предполагается использовать для размещения резонатора и системы впуска, другой может быть использован для размещения дополнительных устройств для генерации СИ (типа многополюсных вигглеров или ондуляторов).

Одним из вариантов использования данного прямолинейного промежутка является установка в нём ондулятора для генерации излучения в EUV диапазоне (Extreme Ultra Violet,  $\lambda \sim 13.6$  нм) для экспериментов по рентгеновской литографии.

### Сверхпроводящие поворотные магниты.

В качестве основного элемента магнитной системы предлагается использовать магниты, подобные изготовленному в 2004 г. в ИЯФ СО РАН для накопителя BESSY-II (Берлин, Германия) магниту, который позволял получать поле до 9 Тл. Обмотки магнита изготовлены из NbTi и Nb<sub>3</sub>Sn сверхпроводящего провода. Магнит успешно прошёл

все испытания, в ходе которых были продемонстрированы параметры и надёжность данной системы.

#### **Система инъекции.**

Предполагается использовать инъекцию в накопитель электронов на полной энергии. Для этого предлагается использование специального синхротрона, подобного разработанному и изготовленному в ИЯФ СО РАН для лазера на свободных электронах университета Дьюка, США.

В качестве форинжектора предлагается использовать линак на энергию 200 МэВ. Бустер, разработанный для университета Дьюк, позволяет ускорять пучки электронов до энергии 1.2 ГэВ с частотой повторения 1 Гц.

Использование промежуточного бустера для ускорения электронов позволит осуществлять инъекцию в основное кольцо на полной энергии. Это, в свою очередь, позволит получить предельно высокий ток (до 1 А) и неограниченное время жизни пучка в кольце.

Предлагаемые в данном проекте линак и бустер достаточно компактны и могут быть размещены внутри основного кольца, что в свою очередь обеспечивает компактность всего комплекса в целом.

#### **ВЧ система.**

В настоящем проекте предполагается использовать производимый в ИЯФ им. Г.И.Будкера одномодовый резонатор с рабочей частотой 180 МГц. Существующая модель позволяет получать ВЧ напряжение до 600 кВ, что вполне достаточно для работы накопителя (энергетические потери в данной схеме составляют 120 кэВ на оборот, без учёта дополнительных устройств генерации СИ). Рабочая мощность резонатора обеспечивает работу накопителя для тока пучка до 1 А. Предлагаемая рабочая гармоника будет равна 31.

#### **Криогенная система.**

Существующая в данный момент в ИЯФ им.Г.И.Будкера технология позволяет создавать сверхпроводящие поворотные магниты с нулевым расходом жидкого гелия. Функционирование системы поддерживается с помощью криогенных «кулеров» и «реконденсоров». Таким образом, расход жидкого гелия (и жидкого азота) происходит только в моменты первичного охлаждения систем после сборки или ремонта.

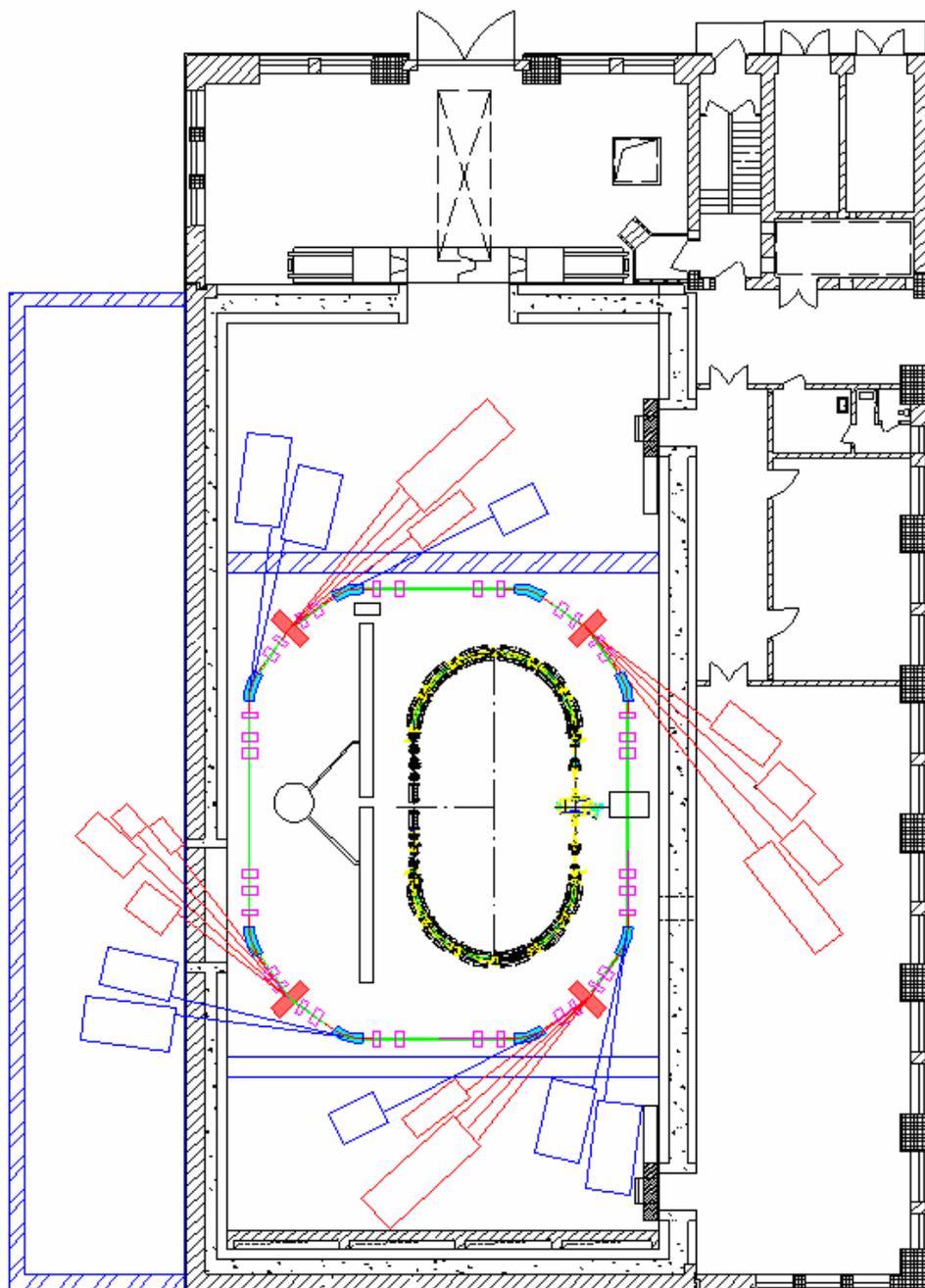
#### **Вакуумная система.**

Вакуумная система включает в себя систему откачки (насосы с блоками питания), набор шиберов с ВЧ окном, вакуумную камеру накопителя.

В настоящий момент в ИЯФ СО РАН заканчивается разработка технологии напыления на внутренние поверхности вакуумных камер NEG-покрытий (Not Evaporated Getter), которая позволит получать предельно низкое давление в камере. Такая технология широко используется при изготовлении узлов современных ускорителей и возможно её применение при изготовлении вакуумной камеры для данного проекта.

#### **Здание и компоновка комплекса.**

В ИЯФ СО РАН существует помещение, в котором может быть построен обсуждаемый накопитель. Помещение имеет инфраструктуру, необходимую для монтажа подобных установок.



**Рис. 41.** Схема компоновки комплекса (не показаны транспортные линии в системе инъекции).

Учитывая достаточно низкую рабочую энергию пучков, можно использовать существующие стены данного помещения для выполнения биозащитных функций без их дополнительной модификации. Всё это резко снижает стоимость строительных работ. К сожалению, размеры помещения не позволяют разместить в нём все экспериментальные станции (за исключением станций первой очереди). Поэтому необходимо предусмотреть строительство пристройки для вывода каналов СИ и размещения ряда станций. Схема такой компоновки комплекса показана на Рис. 41.

В предлагаемом помещении имеется большое количество комнат, в которых можно организовать места подготовки образцов, а также помещения, которые можно переоборудовать для работы большого количества пользователей с учётом круглосуточного характера работ.

#### **Экспериментальные станции.**

Проектируемые параметры накопителя и получаемые из них параметры СИ позволяют реализовать большинство популярных исследовательских методик с использованием СИ:

- рентгенофлуоресцентный анализ;
- рентгеновский дифракционный анализ (включая элементы белковой кристаллографии);
- дифрактометрия с временным разрешением, включая субмикросекундную;
- EXAFS, XAFS, XANES-спектроскопия;
- дефектоскопия и рентгеновская томография (включая фазовый контраст).

Наличие тёплых магнитов в структуре накопителя и, соответственно, каналов вывода СИ в мягком рентгеновском диапазоне и в области вакуумного ультрафиолета также позволят реализовать множество исследовательских и технологических экспериментов:

- фотоэлектронная и Ожэ-спектроскопия;
- исследования в области рентгеновской литографии;
- LIGA-технология.
- Рентгеновская микроскопия и микротомография.
- Метрология.
- Литография с использованием ондулятора для генерации излучения в EUV диапазоне ( $\lambda \sim 13.6$  нм).

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ за 2005 год

Список публикаций, представленных сотрудниками и пользователями СИ Сибирского центра синхротронного излучения, охватывает материалы, вышедшие из печати в 2005 году. Библиография разделена на 15 тематических разделов, внутри которых публикации размещены по алфавиту первых авторов. В список входят как работы, выполненные в Центре, так и в других организациях, если в них принимали участие сотрудники Центра. В конце дан алфавитный указатель авторов. Фамилии авторов приведены так, как они указаны в публикации.

### 1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

**1.1.** Отчёт Сибирского центра синхротронного излучения за 2004 год / Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН; Редакторы-составители В.Б. Барышев, К.В. Эпштейн. – Новосибирск, 2005. – 71 с.

**1.2.** Ancharov A.I., Baryshev V.B., Chernov V.A., Gentshev A.N., Goldenberg B.G., Kochubei D.I., Korchuganov V.N., Kulipanov G.N., Kuzin M.V., Levichev E.B., Mezentsev N.A., Mishnev S.I., Nikolenko A.D., Pindyurin V.F., Sheromov M.A., Tolochko B.P., Sharafutdinov M.R., Shmakov A.N., Vinokurov N.A., Vobly P.D., Zolotarev K.V. Status of the Siberian synchrotron radiation center // Nuclear instruments and methods in physics research. Sec. A. – 2005. – Vol. A543, No. 1. - P. 1-13. – Bibliogr.: 21 ref.

**1.3.** Korchuganov V., Blokhov M., Kovalchuk M., Krylov Y., Kvardakov V., Moseiko L., Moseiko N., Novikov V., Zheludeva S., Odintsov D., Rezvov V., Ushkov V., Valentinov A., Vernov A., Yudin L., Yupinov Y. The status-2004 of the Kurchatov center of SR // Nuclear instruments and methods in physics research. Sec. A. – 2005. – Vol. A543, No. 1. - P. 14-18. – Bibliogr.: 3 ref.

**1.4.** Proceedings of the XV International synchrotron radiation conference: SR 2004, Novosibirsk, Russia, July 19-23, 2004/ Eds V.F.Pindyurin, M.V.Kuzin. – Amsterdam: Elsevier, 2005. – XX, 402 p. – (Nucl. instrum. and meth. in phys. res. Sec. A. – 2005. – Vol. A543, No 1).

### 2. ИСТОЧНИКИ СИ

**2.1.** Бехтенёв Е.А., Хрущёв С.В., Мезенцев Н.А., Мигинская Е.Г., Шкаруба В.А., Цуканов В.М. Магнитные измерения сверхпроводящего 63-полюсного 2 Тесла вигглера для Канадского центра синхротронного излучения (CLS). (То же на англ. яз.) // Тезисы докладов XIX Международного семинара по ускорителям заряженных частиц, 12-18 сентября 2005 г., Алушта, Крым. – Харьков: ННЦ ХФТИ, 2005. – С. 143.

**2.2.** Золотарёв К.В. Сверхпроводящий поворотный магнит с полем 9 Тесла для накопителя BESSY-2: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. – Новосибирск: ИЯФ им. Г.И.Будкера СО РАН, 2005. – 15 с. – Библиогр.: 3 назв.

**2.3. Кузин М.В., Бехтенёв Е.А., Мезенцев Н.А., Мигинская Е.Г., Хрущёв С.В., Цуканов В.М., Шкаруба В.А.** Система магнитных измерений сверхпроводящих много-полюсных вигглеров // V Национальная конференция по применению рентгеновского, синхротронного излучений, нейтронов и электронов для исследования наноматериалов и наносистем (Продолжение Всеюзн. совещ. по применению рентгеновских лучей для исследования материалов, РСНЭ НАНО-2005, 14-19 ноября 2005 года, Москва: Тезисы докладов. – М.: ИК РАН, 2005. – С. 438.

**2.4. Купер Э.А., Мезенцев Н.А., Мигинская Е.Г., Репков В.В., Цуканов В.М.** Система контроля и мониторинга сверхпроводящего 63-полюсного 2 Тесла вигглера для центра синхротронного излучения CLS в Канаде (То же на англ. яз.) // Тезисы докладов XIX Международного семинара по ускорителям заряженных частиц, 12-18 сентября 2005 г., Алушта, Крым. – Харьков: ННЦ ХФТИ, 2005. – С. 144.

**2.5. Хрущёв С.В., Купер Э.А., Лев В.Х., Мезенцев Н.А., Мигинская Е.Г., Репков В.В., Шкаруба В.А., Сыроватин В.М., Цуканов В.М.** Сверхпроводящий 63-полюсный 2 Тесла вигглер для центра синхротронного излучения CLS в Канаде // Тезисы докладов XIX Международного семинара по ускорителям заряженных частиц, 12-18 сентября 2005 г., Алушта, Крым. – Харьков: ННЦ ХФТИ, 2005. – С. 142-143.

**2.6. Batrakov A.M., Khruschev S.V., Kraemer D., Kulipanov G.N., Lev V.H., Mezentsev N.A., Miginsky E.G., Shkaruba V.A., Syrovatin V.M., Tsukanov V.M., Zjurba V.K., Zolotarev K.V.** Nine tesla superconducting bending magnet for BESSY-II // Nuclear instruments and methods in physics research. Sec. A. – 2005. – Vol. A543, No. 1. - P. 35-41. – Bibliogr.: 4 ref.

**2.7. Batrakov A., Churkin I., Kiselev O., Korchuganov V., Kuroda M., Philipchenko A., Schegolev L., Schreiner K., Sinyatkin S., Steshov A., Tsuchida Y., Ushakov V.** Bending magnets for the SAGA Storage Ring // Nuclear instruments and methods in physics research. Sec. A. – 2005. – Vol. A543, No. 1. - P. 47-50. – Bibliogr.: 3 ref.

**2.8. Batrakov A., Ilyin I.** Software of the standalone control system for 49-pole superconducting wiggler // Nuclear instruments and methods in physics research. Sec. A. – 2005. – Vol. A543, No. 1. - P. 386-390. – Bibliogr.: 2 ref.

**2.9. Churkin I.N., Vobly P., Steshov A., Batrakov A., Semenov E., Kolokolnikov Y., Rouvinski E., Dael A., Chubar O., Briquez F.** Elliptical undulator HU256 for synchrotron SOLEIL: magnetic design, computations and measurements // 19 International conference on magnet technology: [Abstracts], Sept. 18-23 2005, Genova, Italy. – Genova: INFN, 2005. – P. 68-69.

**2.10. Trakhtenberg E., Tcheskidov V., Vasserman I., Vinokurov N., Erdmann M., Pfluger J.** Undulator for the LCLS project—from the prototype to the full-scale manufacturing // Nuclear instruments and methods in physics research. Sec. A. – 2005. – Vol. A543, No. 1. - P. 42-46. – Bibliogr.: 4 ref.

**2.11. Vobly P.D., Utkin A., Khavin N., Levichev E., Zubkov N., Tisher M.** Design of the PETRA III damping wiggler // 19 International conference on magnet technology: [Abstracts], Sept. 18-23 2005, Genova, Italy. – Genova: INFN, 2005. – P. 69.

### **3. ЛАЗЕРЫ НА СВОБОДНЫХ ЭЛЕКТРОНАХ, ТЕРАГЕРЦОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ И УСКОРИТЕЛИ-РЕКУПЕРАТОРЫ**

**3.1. Болотин В.Р., Винокуров Н.А., Кайран Д.А., Князев Б.А., Колобанов Е.И., Котенков В.В., Кубарев В.В., Кулипанов Г.Н., Курышев Г.Л., Матвеев А.Н., Медведев Л.Э., Мигинский С.В., Мироненко Л.А., Овчар В.К., Орешков А.Д., Петров А.К., Попик В.М., Рудыч П.Д., Саликова Т.В., Средняков С.С., Скринский А.Н., Тарабан М.Б., Фомин В.М., Чесноков Е.Н., Черкасский В.С., Шевченко О.А., Шишкина Л.Н., Щеглов М.А., Яковлев В.И.** Новосибирский лазер на свободных электронах и его возможные применения // Тезисы докладов XXXII Звенигородской конференции по физике плазмы и УТС, г. Звенигород, 14-18 февраля 2005 г. – М., 2005. – С. 12.

**3.2. Болотин В.П., Винокуров Н.А., Кайран Д.А., Князев Б.А., Колобанов Е.И., Котенков В.В., Кубарев В.В., Кулипанов Г.Н., Матвеев А.Н., Медведев Л.Э., Мигинский С.В., Мироненко Л.А., Орешков А.Д., Овчар В.К., Попик В.М., Саликова Т.В., Средняков С.С., Скринский А.Н., Шевченко О.А., Щеглов М.А.** Статус терагерцового ЛСЭ в Новосибирске (То же на англ. яз.) // Тезисы докладов XIX Международного семинара по ускорителям заряженных частиц, 12-18 сентября 2005 г., Алушта, Крым. – Харьков: ННЦ ХФТИ, 2005. – С. 17.

**3.3. Мигинский С.В., Бондаренко А.В., Ли Б.Ч., Пак С.Х., Джонг Я.У., Хан Я.Х., Ким С.Ч.** Проект мощного ЛСЭ в KAERI на базе сверхпроводящего линака-рекуператора (То же на англ. яз.) // Тезисы докладов XIX Международного семинара по ускорителям заряженных частиц, 12-18 сентября 2005 г., Алушта, Крым. – Харьков: ННЦ ХФТИ, 2005. – С. 29.

**3.4. Петров А.К., Козлов А.С., Тарабан М.Б., Горячкова Т.Н., Малышкин С.Б., Попик В.М., Пельтек С.Е.** Мягкая абляция биологических объектов под воздействием субмиллиметрового излучения лазера на свободных электронах // Доклады Академии наук РАН. - 2005. – Т. 404, № 5. – С. 698-700. – Библиогр.: 6 назв.

**3.5. Средняков С.С.** Система управления электронным пучком и излучением лазера на свободных электронах: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Новосибирск: ИЯФ им. Г.И.Будкера СО РАН, 2005. – 15 с. – Библиогр.: 11 назв.

**3.6. Шевченко О.А.** Теория и расчёт физических процессов в лазерах на свободных электронах с нерегулярной магнитной системой: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. – Новосибирск: ИЯФ им. Г.И.Будкера СО РАН, 2005. – 14 с. – Библиогр.: 9 назв.

**3.7. Bogomolov G.D., Jeong Uk.Y., Zhizhin G.N., Nikitin A.K., Zavyalov V.V., Kazakevich G.M., Lee B.C., Rijova T.A.** First experiments on application of free-electron laser radiation for optical control of metal surfaces // Поверхность. – 2005. - № 5. – С. 57-63. – Библиогр.: 19 назв.

**3.8. Bogomolov G.D., Jeong Uk.Y., Zhizhin G.N., Nikitin A.K., Zavyalov V.V., Kazakevich G.M., Lee B.C.** Generation of surface electromagnetic waves in terahertz spectral range by free-electron laser radiation and their refractive index determination // Nuclear instruments and methods in physics research. Sec. A. – 2005. – Vol. A543, No. 1. - P. 96-101. – Bibliogr.: 14 ref.

**3.9. Bolotin V.P., Chesnokov E.N., Kozlov A.S., Petrov A.K., Taraban M.B., Cherkassky V.S., Rudych P.D., Knyazev B.A., Kolobanov E.I., Kotenkov V.V., Kubarev V.V., Kulipanov G.N., Matveenko A.N., Medvedev L.E., Miginsky S.V., Mironenko L.A., Oreshkov A.D., Ovchar V.K., Popik V.M., Salikova T.V., Serednyakov S.S., Skrinsky A.N., Shevchenko O.A., Scheglov M.A., Vinokurov N.A., Zaigraeva N.S.** First experiments on high power Novosibirsk terahertz free electron laser. – Novosibirsk, 2005. – 11 p. – (Preprint/ G.I.Budker inst. of nucl. physics; Budker INP 2005-37). –Bibliogr.: 15 ref.

**3.10 Bolotin V.P., Cherkassky V.S., Chesnokov E.N., Knyazev B.A., Kolobanov E.I., Kotenkov V.V., Kozlov A.S., Kubarev V.V., Kulipanov G.N., Matveenko A.N., Medvedev L.E., Miginsky S.V., Mironenko L.A., Oreshkov A.D., Ovchar V.K., Petrov A.K., Popik V.M., Rudych P.D., Salikova T.V., Serednyakov S.S., Skrinsky A.N., Shevchenko O.A., Scheglov M.A., Taraban M.B., Vinokurov N.A., Zaigraeva N.S.** Novosibirsk terahertz free electron laser: status and survey of experimental results // The Joint 30th International conference on infrared and millimeter waves and 13th International conference on terahertz electronics: IRMMW-THz2005, Williamsburg, Virginia, USA, Sept. 19 – 23, 2005. – Piscataway: IEEE, 2005. – Vol. 2. – P. 495-496. – Bibliogr.: 5 ref.

**3.11. Bolotin V.P., Knyazev B.A., Kolobanov E.I., Kotenkov V.V., Kubarev V.V., Kulipanov G.N., Matveenko A.N., Medvedev L.E., Oreshkov A.D., Persov B.Z., Popik V.M., Salikova T.V., Serednyakov S.S., Shevchenko O.A., Scheglov M.A., Vinokurov N.A.** Quasi-continuous sub-millimeter optical discharge on Novosibirsk free electron laser: experiments and elementary theory // The Joint 30th International conference on infrared and millimeter waves and 13th International conference on terahertz electronics: IRMMW-THz2005, Williamsburg, Virginia, USA, Sept. 19 – 23, 2005. – Piscataway: IEEE, 2005. – Vol. 1. – P. 126-127. – Bibliogr.: 5 ref.

**3.12. Bolotin V.P., Vinokurov N.A., Kayran D.A., Knyazev B.A., Kolobanov E.I., Kotenkov V.V., Kubarev V.V., Kulipanov G.N., Matveenko A.N., Medvedev L.E., Miginsky S.V., Mironenko L.A., Oreshkov A.D., Ovchar V.K., Popik V.M., Salikova T.V., Serednyakov S.S., Skrinsky A.N., Shevchenko O.A., Scheglov M.A.** Status of the Novosibirsk terahertz FEL // Nuclear instruments and methods in physics research. Sec. A. – 2005. – Vol. A543, No. 1. - P. 81-84. – Bibliogr.: 6 ref.

**3.13. Bondarenko A.V., Miginsky S.V.** Simulation and minimization of thermal deformation of mirrors in a resonator of free electron laser // Nuclear instruments and methods in physics research. Sec. A. – 2005. – Vol. A543, No. 1. - P. 110-113. – Bibliogr.: 6 ref.

**3.14. Cherkassky V.S., Knyazev B.A., Kubarev V.V., Kulipanov G.N., Kuryshev G.L., Matveenko A.N., Petrov A.K., Popik V.M., Scheglov M.A., Shevchenko O.A., Vinokurov N.A.** Imaging techniques for a high-power THz free electron laser // Nuclear instruments and methods in physics research. Sec. A. – 2005. – Vol. A543, No. 1. - P. 102-109. – Bibliogr.: 5 ref.

**3.15. Cherkassky V.S., Knyazev B.A., Kozlov S.V., Kubarev V.V., Kulipanov G.N., Matveenko A.N., Popik V.M., Root D.N., Rudych P.D., Shevchenko O.A., Trifutina A.V., Vinokurov N.A.** Terahertz imaging and holography with a high-power free electron laser // The Joint 30th International conference on infrared and millimeter waves and 13th International conference on terahertz electronics: IRMMW-THz2005, Williamsburg, Virginia, USA, Sept. 19 – 23, 2005. – Piscataway: IEEE, 2005. – Vol. 2. – P. 337-338. – Bibliogr.: 3 ref.

**3.16. Jeong Y.U., Kazakevitch G.M., Cha H.J., Park S.H., Lee B.C.** Application of a wide-band compact FEL on THz imaging // Nuclear instruments and methods in physics research. Sec. A. – 2005. – Vol. A543, No. 1. - P. 90-95. – Bibliogr.: 10 ref.

**3.17. Kolobanov E.I., Kotenkov V.V., Kubarev V.V., Kulipanov G.N., Matveenko A.N., Medvedev L.E., Oreshkov A.D., Popik V.M., Salikova T.V., Serednyakov S.S., Shevchenko O.A., Scheglov M.A., Vinokurov N.A.** High resolution mesh Fabry-Perot interferometers in experiments on free electron and gas lasers // The Joint 30th International conference on infrared and millimeter waves and 13th International conference on terahertz electronics: IRMMW-THz2005, Williamsburg, Virginia, USA, Sept. 19 – 23, 2005. – Piscataway: IEEE, 2005. – Vol. 1. – P. 194-195. – Bibliogr.: 5 ref.

**3.18. Kolobanov E.I., Kotenkov V.V., Kubarev V.V., Kulipanov G.N., Makashov E.V., Matveenko A.N., Medvedev L.E., Oreshkov A.D., Ovchar V.K., Palagin K.S., Popik V.M., Salikova T.V., Serednyakov S.S., Shevchenko O.A., Scheglov M.A., Vinokurov N.A.** Highly sensitive fast Schottky-diode detectors in experiments on Novosibirsk free electron laser // The Joint 30th International conference on infrared and millimeter waves and 13th International conference on terahertz electronics: IRMMW-THz2005, Williamsburg, Virginia, USA, Sept. 19 – 23, 2005. – Piscataway: IEEE, 2005. – Vol. 1. – P. 154-156. – Bibliogr.: 4 ref.

**3.19. Kozhevnikov A.V., Timchenko N.A., Zabaev V.N., Popik V.M.** Adding of microtron electron bunches for improving of far infrared FEL performance // Nuclear instruments and methods in physics research. Sec. A. – 2005. – Vol. A543, No. 1. - P. 118-121. – Bibliogr.: 5 ref.

**3.20. Kuzmin A.V., Shevchenko O.A., Vinokurov N.A.** Numerical modeling of the Novosibirsk terahertz FEL and comparison with experimental results // Nuclear instruments and methods in physics research. Sec. A. – 2005. – Vol. A543, No. 1. - P. 114-117. – Bibliogr.: 2 ref.

**3.21. Petrov A.K., Kozlov A.S., Taraban M.B., Goryachkovskaya T.N., Malyshkin S.B., Popik V.M., Peltek S.E.** Mild ablation of biological objects under the submillimeter radiation of the free electron laser // The Joint 30th International conference on infrared and millimeter waves and 13th International conference on terahertz electronics: IRMMW-THz2005, Williamsburg, Virginia, USA, Sept. 19 – 23, 2005. – Piscataway: IEEE, 2005. – Vol. 1. – P. 303-304.

## 4. МЕТРОЛОГИЯ

**4.1. Коваленко Н.В., Легкодымов А.А., Николенко А.Д., Пиндюрин В.Ф., Чернов В.А.** Особенности метрологических измерений с использованием многослойной оптики на синхротронном излучении в мягком рентгеновском диапазоне (80 – 1500 эВ) // Нанопластика и нанопластика: Материалы симпозиума, нижний Новгород, 25 – 29 марта 2005 г. – Н. Новгород: Ин-т физики микроструктур РАН, 2005. – Т. 2, - С. 502-503. – Библиогр.: 2 назв.

**4.2. Николенко А.Д., Лях В.В., Пиндюрин В.Ф., Чернов В.В.** Экспериментальное исследование возможности применения метода самокалибровки в сочетании с амплитудным анализом для абсолютной калибровки чувствительности сцинтилляционного счётчика в мягком рентгеновском диапазоне // V Национальная конференция по применению рентгеновского, синхротронного излучений, нейтронов и электронов для исследования наноматериалов и наносистем (Продолжение Всеююз. совещ. по применению рентгеновских лучей для исследования материаловб РСНЭ НАНО-2005, 14-19 ноября 2005 года, Москва: Тезисы докладов. – М.: ИК РАН, 2005. – С. 444.

**4.3. Afanas'ev I., Avakyan S., Voronin N., Nikolenko A., Pindyurin V.** Procedures of absolute calibration for the Space Solar Patrol instrumentation at the Synchrotron radiation source // Proceedings of the 9<sup>th</sup> International conference on new developments and applications in optical radiometry NEWRAD 2005, 17-19 Oct. 2005, Davos, Switzerland. – Davos: PMOD, 2005. – P. 163-164.

**4.4. Buhtiyarov V.I., Gavrilov N.G., Gentshev A.N., Goldenberg B.G., Kulipanov G.N., Legkodymov A.A., Lyakh V.V., Meshkov O.I., Nizovsky A.I., Nikolenko A.D., Pindyurin V.F., Poletaev I.V., Rakshun Ya.V., Semenov E.P., Kholopov M.A., Chernov V.A., Sheromov M.A.** VUV and soft X-ray metrology stations at the International Siberian Synchrotron Radiation Centre // Proceedings of the 9<sup>th</sup> International conference on new developments and applications in optical radiometry NEWRAD 2005, 17-19 Oct. 2005, Davos, Switzerland. – Davos: PMOD, 2005. – P. 33. – Bibliogr.: 2 ref.

**4.5. Nikolenko A. D., Pindyurin V. F., Chernov V. A., Lyakh V.V.** Experimental study of application of the self-calibration method to certify absolute spectral sensitivity of a scintillation counter in the soft X-ray range // Proceedings of the 9<sup>th</sup> International conference on new developments and applications in optical radiometry NEWRAD 2005, 17-19 Oct. 2005, Davos, Switzerland. – Davos: PMOD, 2005. – P. 35. – Bibliogr.: 2 ref.

**4.6. Nikolenko A.D., Pindyurin V.F., Khrebtov I.A., Malyarov V.G., Khokhlov D.F., Ivanov K.V.** Project of absolute measuring instrument of power on the basis of high-temperature superconducting thermometer for soft X-ray radiation // Proceedings of the 9<sup>th</sup> International conference on new developments and applications in optical radiometry NEWRAD 2005, 17-19 Oct. 2005, Davos, Switzerland. – Davos: PMOD, 2005. – P. 53.

## **5. СИ В МИКРОЭЛЕКТРОНИКЕ И МИКРОМЕХАНИКЕ**

**5.1. Бобровникова О.Н., Генцелев А.Н., Гольденберг Б.Г., Елисеев В.С., Лях В.В., Мезенцева Л.А., Петрова Е.В., Пиндюрин В.Ф., Яковенко Е.О.** Формирование и исследование толстых резистивных слоёв ПММА для LIGA-технологии // Поверхность. – 2005. - № 9. – С. 38-43. – Библиогр.: 6 назв. – (Материалы XV Междунар. конф. по использованию синхротронного излучения СИ-2004).

**5.2. Бухтияров В.И., Гаврилов Н.Г., Легкодымов А.А., Лях В.В., Низовский А.И., Николенко А.Д., Пиндюрин В.Ф., Полетаев И.В., Семёнов Е.П., Холопов М.А., Чернов В.А., Шеромов М.А.** Станция мягкого рентгеновского диапазона на синхротронном излучении из накопителя ВЭПП-3 для исследования многослойных структур // Поверхность. – 2005. - № 8. – С. 13-15. – Библиогр.: 1 назв.

**5.3. Гольденберг Б.Г., Пиндюрин В.Ф., Лях В.В., Мезенцева Л.А., Бобровникова О.Н., Елисеев В.С., Петрова Е.В.** Изготовление концентрических зонных пластин методом динамической рентгенолитографии // Нанозифика и нанозлектроника: Материалы симпозиума, нижний Новгород, 25 – 29 марта 2005 г. – Н. Новгород: Ин-т физики микроструктур РАН, 2005. – Т. 2, - С. 298-299. – Библиогр.: 3 назв.

**5.4. Гольденберг Б.Г., Коньшев К.А., Пиндюрин В.Ф.** Изучение радиационно-индуцированного температурного поля в толстых слоях ПММА в процессе облучения СИ // V Национальная конференция по применению рентгеновского, синхротронного излучений, нейтронов и электронов для исследования наноматериалов и наносистем (Продолжение Всеюз. совещ. по применению рентгеновских лучей для исследования материалов, РСНЭ НАНО-2005, 14-19 ноября 2005 года, Москва: Тезисы докладов. – М.: ИК РАН, 2005. – С. 198.

**5.5. Гольденберг Б.Г., Генцелев А.Н., Лях В.В., Пиндюрин В.Ф., Щёголев Л.М., Елисеев В.С., Коньшев К.А.** Позиционно-чувствительный «прозрачный» монитор положения пучков СИ на станции LIGA накопителя ВЭПП-3 // Поверхность. – 2005. - № 9. – С. 54-59. – Библиогр.: 6 назв. – (Материалы XV Междунар. конф. по использованию синхротронного излучения СИ-2004).

**5.6. Елисеев В.С., Гольденберг Б.Г., Пиндюрин В.Ф., Петрова Е.В., Лях В.В., Мезенцева Л.А., Кондратьев В.И.** Изготовление концентрических зонных пластин методом динамической рентгенолитографии // V Национальная конференция по применению рентгеновского, синхротронного излучений, нейтронов и электронов для исследования наноматериалов и наносистем (Продолжение Всеюз. совещ. по применению рентгеновских лучей для исследования материалов, РСНЭ НАНО-2005, 14-19 ноября 2005 года, Москва: Тезисы докладов. – М.: ИК РАН, 2005. – С. 355.

**5.7. Петрова Е.В., Гольденберг Б.Г., Кондратьев В.И., Мезенцева Л.А., Пиндюрин В.Ф., Генцелев А.Н., Елисеев В.С., Лях В.В.** Создание рентгеношаблонов на толстой подложке для глубокой рентгеновской литографии // V Национальная конференция по применению рентгеновского, синхротронного излучений, нейтронов и электронов для исследования наноматериалов и наносистем (Продолжение Всеюз. совещ. по применению рентгеновских лучей для исследования материалов, РСНЭ НАНО-2005, 14-19 ноября 2005 года, Москва: Тезисы докладов. – М.: ИК РАН, 2005. – С. 447.

## **6. ПРИМЕНЕНИЕ СИ В БИОЛОГИИ И МЕДИЦИНЕ**

**6.1. Вазина А.А., Гаджиев А.М., Ланина Н.Ф., Маевский Е.И., Матюшин А.М., Сергиенко П.М., Кондратьев В.И., Корнеев В.Н., Забелин А.В. Толочко Б.П., Вавилов А.М., Летягин В.П., Черняев А.Л.** Наноинвариант структурной упорядоченности биологических тканей и слизей эпителиальных тканей // V Национальная конференция по применению рентгеновского, синхротронного излучений, нейтронов и электронов для исследования наноматериалов и наносистем (Продолжение Всеюз. совещ. по применению рентгеновских лучей для исследования материалов, РСНЭ НАНО-2005, 14-19 ноября 2005 года, Москва: Тезисы докладов. – М.: ИК РАН, 2005. – С. 56.

**6.2. Ланина Н.Ф., Брас В., Вазина А.А., Горбунова Н.П., Дещеревская Н.П., Долбня И.П.** Наноструктурная модель гигантского мультидоменного мышечного белка титина на основе дифракционных и механических исследований // V Национальная конференция по применению рентгеновского, синхротронного излучений, нейтронов и электронов для исследования наноматериалов и наносистем (Продолжение Всеюзн. совещ. по применению рентгеновских лучей для исследования материалов, РСНЭ НАНО-2005, 14-19 ноября 2005 года, Москва: Тезисы докладов. – М.: ИК РАН, 2005. – С. 61.

**6.3. Ланина Н.Ф., Вазина А.А., Буданцев А.Ю., Трунова В.А., Дзарасова А.М.** Роль катионов металлов в трансформации межклеточного матрикса биологических тканей // Научные труды I съезда физиологов СНГ. – Б.м., 2005. - С. 16.

**6.4. Матюшин А.М., Вазина А.А., Ланина Н.Ф., Найда О.В., Трунова В.А., Золотарев К.В.** Выявление наноструктурной периодичности протеогликанового межклеточного матрикса шерсти животных методом малоугловой дифракции с использованием СИ // V Национальная конференция по применению рентгеновского, синхротронного излучений, нейтронов и электронов для исследования наноматериалов и наносистем (Продолжение Всеюзн. совещ. по применению рентгеновских лучей для исследования материалов, РСНЭ НАНО-2005, 14-19 ноября 2005 года, Москва: Тезисы докладов. – М.: ИК РАН, 2005. – С. 116.

**6.5. Окунева Г.Н., Чернявский А.М., Трунова В.А., Волков А.М., Зверева В.В., Левичева Е.Н, Логинова И.Ю.** Распределение микроэлементов в разных участках миокарда у больных ишемической болезнью сердца (предварительное сообщение) // Патология кровообращения и кардиохирургия. – 2005. - № 4. - С. 27 –32. – Библиогр.: 15 назв.

**6.6. Trunova V.A., Zvereva V.V.** Investigation of insoluble endogenous fractions of gastrointestinal tract by SRXRF // Nuclear instruments and methods in physics research. Sec. A. – 2005. – Vol. A543, No. 1. - P. 266-270. – Bibliogr.: 7 ref.

**6.7. Trunova V.A., Zvereva V.V.** The life-time analysis of elemental composition of human liver punctures (SRXRF) // International conference on analytical chemistry and chemical analysis (Ac&Ca-05): Abstracts, Kyiv, Ukraine, September 12-18, 2005. – Kyiv, 2005. - P. 387.

**6.8. Vazina A.A., Budantsev A.Yu., Bras W., Deshcherevskaya N.P., Dolbnya I.P., Gadzhiev A.M., Korneev V.N., Lanina N.F., Letyagin V.P., Maevsky E.I., Matyushin A.M., Podolsky I.Ya., Samsonova M.V., Sergienko P.M., Simonova N.B., Stankevich V.G., Trunova V.A., Vavilov V.M., Chernyaev A.L., Sharafutdinov M.R., Sheromov M.A.** X-ray diffraction and spectral studies of biological native and modified tissues // Nuclear instruments and methods in physics research. Sec. A. – 2005. – Vol. A543, No. 1. - P. 297-301. – Bibliogr.: 4 ref.

См. также №№ 3.4, 3.21, 12.2, 12.9, 12.21, 12.25, 12.26, 12.27 , 13.4, 13.22, 13.24, 13.25

## 7. ДЕТЕКТОРЫ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

**7.1. Aulchenko A., Zhulanov V., Shekhtman L., Tolochko B., Zhogin I., Evdokov O., Ten K.** One-dimensional detector for study of detonation processes with synchrotron radiation beam // Nuclear instruments and methods in physics research. Sec. A. – 2005. – Vol. A543, No. 1. - P. 350-356. – Bibliogr.: 6 ref.

**7.2. Fedotov M.G., Kolmakov M.V., Pischenuk S.M.** The development of the multichannel recording system for short-time processes investigations on SR beams with the application of solid-state detectors // Nuclear instruments and methods in physics research. Sec. A. – 2005. – Vol. A543, No. 1. - P. 357-360. – Bibliogr.: 3 ref.

**7.3. Fisenko A.N., Kosov A.V., Kozak V.R., Kuper E.A., Pirogov B.Ja., Sheromov M.A., Zolotarev K.V.** Coordinate-sensitive ionization chamber with high spatial resolution // Nuclear instruments and methods in physics research. Sec. A. – 2005. – Vol. A543, No. 1. - P. 361-364. – Bibliogr.: 1 ref.

## 8. РЕНТГЕНОВСКАЯ ОПТИКА

**8.1. Коваленко Н.В.** Рентгеновские дифракционные решётки на основе многослойных структур: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. – Новосибирск: ИЯФ им. Г.И.Будкера СО РАН, 2005. – 15 с. – Библиогр.: 10 назв.

**8.2. Chernov V.A., Kuper K.E., Legkodymov A.A., Lyakh V.V., Pindyurin V.F., Mohr J., Nazmov V.P., Reznikova E.F., Saile V.** Study of SR beam focusing with X-ray compound refractive lenses at the VEPP-3 storage ring // Nuclear instruments and methods in physics research. Sec. A. – 2005. – Vol. A543, No. 1. - P. 326-332. – Bibliogr.: 9 ref.

**8.3. Gavrilov N.G., Sheromov M.A., Tolochko B.P., Zhogin I.L.** Fixed exit DC-monochromator of general position for side (or top) beam line // Nuclear instruments and methods in physics research. Sec. A. – 2005. – Vol. A543, No. 1. - P. 375-380. – Bibliogr.: 3 ref.

См. также № 13.8 , 13.26

## 9. ОБОРУДОВАНИЕ И АППАРАТУРА ДЛЯ РАБОТЫ С СИ

**9.1. Корнеев В.Н., Сергиенко П.М., Матюшин А.М., Шлектарев В.А., Литвинов Е.И., Горин В.П., Шеромов М.А., Аульченко В.М., Забелин А.В., Станкевич В.Г., Найда О.В., Вазина А.А.** Станция “DICSИ” на КЦСИиИТ. Определение оптимальных условий формирования пучка СИ на базе цилиндрических рентгенооптических трансфокаторов // V Национальная конференция по применению рентгеновского, синхротронного излучений, нейтронов и электронов для исследования наноматериалов и наносистем (Продолжение Всеоюз. совещ. по применению рентгеновских лучей для исследования материалов, РСНЭ НАНО-2005, 14-19 ноября 2005 года, Москва: Тезисы докладов. – М.: ИК РАН, 2005. – С. 408.

См. также №№ 5.2, 5.5, 8.3

## 10. EXAFS- И XANES- СПЕКТРОСКОПИЯ

**10.1. Запис К.В., Кособудский И.Д., Ушаков Н.М., Кочубей В.И., Журавлева М.Н., Пономарева К.Ю.** Синтез и структура композиционных материалов на основе наночастиц оксида цинка в полиэтиленовой матрице // Неорганические материалы. – 2005. Т. 41, № 11. – С. 1330-1335.

**10.2. Кочубей В.И., Конюхова Ю.Г., Чугунова О.В.** Особенности регистрации и обработки спектров XEOL // Проблемы оптической физики. - Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 2005. - С.84-86.

**10.3. Кочубей Д.И., Кривенцов В.В., Зюзин Д.А., Фролова Ю.В., Садыков В.А., Neophytides S.** Изучение нанокompозитной системы для производства синтез-газа методом XAFS // V Национальная конференция по применению рентгеновского, синхротронного излучений, нейтронов и электронов для исследования наноматериалов и наносистем (Продолжение Всеюз. совещ. по применению рентгеновских лучей для исследования материалов, РСНЭ НАНО-2005, 14-19 ноября 2005 года, Москва: Тезисы докладов. – М.: ИК РАН, 2005. – С. 364.

**10.4. Кривенцов В.В., Кочубей Д.И., Цодиков М.В., Colón G., Hidalgo M.C., Navio J.A.** Изучение структуры поверхности наночастиц методов EXAFS спектроскопии молекул-зондов // V Национальная конференция по применению рентгеновского, синхротронного излучений, нейтронов и электронов для исследования наноматериалов и наносистем (Продолжение Всеюз. совещ. по применению рентгеновских лучей для исследования материалов, РСНЭ НАНО-2005, 14-19 ноября 2005 года, Москва: Тезисы докладов. – М.: ИК РАН, 2005. – С. 365.

**10.5. Кривенцов В.В.** Изучение поверхности наночастиц с использованием метода EXAFS спектроскопии молекул-зондов: Автореф. дис. ... канд. хим. Наук. – Новосибирск: Ин-т катализа им. Г.К.Борескова СО РАН, 2005. – 16 с. – Библиогр.: 15 назв.

**10.6. Кривенцов В.В., Кочубей Д.И., Цодиков М.В., Colon G., Hidalgo M.C., Navio J.A.** Использование молекул-зондов для исследования поверхности наночастиц методом EXAFS спектроскопии // XVII Симпозиум "Современная химическая физика": Тезисы докладов, Туапсе, 18-29 сентября, 2005. – Б.м., 2005. - С.134-135.

**10.7. Менушенков А.Р., Ракшун Я.В., Михеева М.Н., Клементьев К.В., Теплов А.А., Брязкало А.М.** Локальный структурный переход кристалл – квазикристалл в Fe-Cu-Fe // ЖЭТФ. Письма. – 2005. – Т. 81, № 9. – С. 595-599. – Библиогр.: 15 назв.

**10.8. Ракшун Я.В., Менушенков А.П., Михеева М.Н., Клементьев К.В., Теплов А.А., Шайтура Д.С.** Локальный структурный переход кристалл-квазикристалл в Al-Fe-Cu // Сборник аннотаций Научной конференции ИСФТТ РНЦ «Курчатовский институт», Москва, 22-24 марта 2005 г. – Москва, 2005. – С. 58.

**10.9. Ракшун Я.В., Менушенков А.П., Клементьев К.В., Брязкало А.М., Михеева М.Н., Шайтура Д.С., Теплов А.А.** Локальный структурный переход кристалл-квазикристалл в тройном сплаве Al-Fe-Cu // V Национальная конференция по применению рентгеновского, синхротронного излучений, нейтронов и электронов для исследования наноматериалов и наносистем (Продолжение Всеюз. совещ. по применению рентгеновских лучей для исследования материалов, РСНЭ НАНО-2005, 14-19 ноября 2005 года, Москва: Тезисы докладов. – М.: ИК РАН, 2005. – С. 381.

10.10. Эренбург С.Б., Бауск Н.В., Двуреченский А.В., Смагина Ж.В., Ненашев А.В., Никифоров А.И., Мансуров В.Г., Журавлёв К.С., Торопов А.И. **Применение XAFS-спектроскопии для исследования микроструктуры и электронного строения квантовых точек // V Национальная конференция по применению рентгеновского, синхротронного излучений, нейтронов и электронов для исследования наноматериалов и наносистем (Продолжение Всеюзн. совещ. по применению рентгеновских лучей для исследования материалов, РСНЭ НАНО-2005, 14-19 ноября 2005 года, Москва: Тезисы докладов. – М.: ИК РАН, 2005. – С. 344.**

10.11. Эренбург С.Б., Бауск Н.В., Двуреченский А.В., Смагина Ж.В., Ненашев А.В., Никифоров А.И., Мансуров В.Г., Журавлёв К.С., Торопов А.И. **Применение XAFS-спектроскопии для исследования микроструктуры и электронного строения квантовых точек // Тезисы VII Всероссийской конференции «Физикохимия ультрадисперсных (нано) систем», 22-24 ноября 2005 года, г. Звенигород. – Б.м., 2005. – С.**

**10.12. Asylgushina G.N., Bikkulova N.N., Titova S.G., Kochubey D.I.** Interaction between crystal lattice and mobile ions in copper selenides studied by EXAFS spectroscopy // Nuclear instruments and methods in physics research. Sec. A. – 2005. – Vol. A543, No. 1. - P. 194-195. – Bibliogr.: 4 ref.

**10.13. Erenburg S.B., Bausk N.V., Mazalov L.N., Toropov A.I., Zhuravlev K.S., Mansurov V.G., Shamirsaev T.S., Bras W., Nikitenko S.** Microscopic parameters of materials containing GaN/AlN and InAs/AlAs heterostructures // Nuclear instruments and methods in physics research. Sec. A. – 2005. – Vol. A543, No. 1. - P. 188-193. – Bibliogr.: 19 ref.

10.14. Erenburg S.B., Bausk N.V., Nikiforov A.I., Dvurechenskii A.V., Toropov A.I., Mansurov V.G., Kulipanov G.N., Bras W., Nikitenko S. **Quantum dots microstructure and energy spectrum peculiarities by XAFS spectroscopy // Abstracts of 19th Nuclear physics divisional conference - new trends in nuclear physics applications and technology, Pavia, Italy, 5-9 September 2005. – S.I., 2005. - P. 53.**

**10.15. Erenburg S.B., Bausk N.V., Mazalov L.N., Nikiforov A.I., Yakimov A.I.** Quantum dots microstructure and energy spectrum peculiarities // Physica scripta. – 2005. – Vol. 115. – P. 439-441. – Bibliogr.: 19 ref.

**10.16. Erenburg S.B., Bausk N.V., Mazalov L.N., Shulman R.S., Us T.V., Torgov V.G.** Spatial structure of new heterometallic Ru/(Co, Ni, Cu or Zn) complexes in hexane by XAFS spectroscopy // Journal of molecular liquids. – 2005. – Vol. 118. - P. 71-76. – Bibliogr.: 10 ref.

**10.17. Erenburg S.B., Bausk N.V., Mazalov L.N., Shulman R.S., Us T.V., Torgov V.G.** Structure of new heterometallic complexes in hexane on modelling the recovery of ruthenium from radioactive solutions // Physica scripta. – 2005. – Vol. T115. – P. 115-118. – Bibliogr.: 7 ref.

10.18. Erenburg S.B., Bausk N.V., Torgov V.G. **Structure of new heterometallic Ru/Ni, Cu, Zn complexes with clix[4]phosphin oxide in solutions by XAFS spectroscopy // Abstracts of 29th International conference on solution chemistry, Portorozh, Slovenia, August 21-25, 2005. – S.I., 2005. - P. 71.**

10.19. Erenburg S.B., Bausk N.V., Nikiforov A.I., Yakimov A.I., Dvurechenskii A.V., Kulipanov G.N., Bras W., Nikitenko S. **XAFS-spectroscopy application to study materials, containing quantum dots // Abstracts of the 13th General Conference of the European Physical Society "Beyond Einstein - Physics for the 21 "Century". Conference I: Photons, lasers and quantum statistics, 8 - 15 July 2005, Bern, Switzerland. - Bern, 2005. P-46-TUTH, p.47.**

10.20. Erenburg S.B., Bausk N.V., Torgov V.G., Kulipanov G.N. **XAFS spectroscopy study of new heterometallic Ru/Ni, Cu, Zn complexes in organic solutions modelling the recovery of Ru from liquid radioactive wastes // Abstracts of 19th Nuclear physics divisional conference - new trends in nuclear physics applications and technology, Pavia, 5-9 September 2005. – S.I., 2005. - P.108.**

10.21. Erenburg S.B., Bausk N.V., Nikiforov A.I., Dvurechenskii A.V., Toropov A.I., Mansurov V.G., Kulipanov G.N., Bras W., Nikitenko S. **X- ray absorption spectroscopy application to study materials containing quantum dots // Abstracts of 24th International conference on photonic, electronic and atomic collisions (24ISPEAC 2005), Rosario, Argentina, July 20 - 26, 2005. – S.I., 2005. - P.**

**10.22. Frolova Yu., Mezentseva N., Sadykov V., Alikina G., Lukashevich A., Paukshtis E., Moroz E., Zaikovskii V., Burgina E., Kriventsov V., Kochubei D.** Nanocrystalline catalysts based on CeO<sub>2</sub>-ZrO<sub>2</sub> doped by Pr or Gd: synthesis and properties // Materials Research Society fall meeting, Nov.27-Dec.2, 2005, Boston, MA, Symposium O (Nanoparticles and nanosystems in sensors and catalysis). – S.I., 2005. – P. O10.4

**10.23. Frolova Yu.V., Kochubey D.I., Kriventsov V.V., Moroz E.M., Neofitides S., Sadykov V.A., Zyuzin D.A.** The influence of bismuth addition on the local structure of CeO<sub>2</sub> // Nuclear instruments and methods in physics research. Sec. A. – 2005. – Vol. A543, No. 1. - P. 127-130. – Bibliogr.: 6 ref.

**10.24. Frolova Yu.V., Sadykov V.A., Alikina G.M., Lukashevich A.I., Moroz E.M., Kriventsov V.V., Zaikovskii V.I., Zyryanov V.V., Uvarov N.F.** Nanocomposites comprised of doped cerium dioxide and lanthanum manganite for syngas production // International conference on solid state ionics, SSI-15: Book of abstracts, Baden-Baden, July 17-22, 2005. S.I., 2005. - Vol.1. - P.181.

**10.25. Gabuda S.P., Kozlova S.G., Panov V.V., Erenburg S.B., Bausk N.V.** XANES Pb LIII spectra of mixed-valence compound: minium, Pb<sub>3</sub>O<sub>4</sub> // Nuclear instruments and methods in physics research. Sec. A. – 2005. – Vol. A543, No. 1. - P. 184-187. – Bibliogr.: 13 ref.

**10.26. Gritsenko V., Gritsenko D., Shaimeev S., Aliev V., Nasyrov K., Erenburg S., Tapilin V., Wong H., Poon M.C., Lee J.H., Lee J.-W., Kim C.W.** Atomic and electronic structures of amorphous ZrO<sub>2</sub> and HfO<sub>2</sub> films // Microelectronics engineering. – 2005. – Vol. 81. – P. 524-529. – Bibliogr.: 14 ref.

**10.27. Kochubey V.I., Konyukhova Ju.G., Chugunova O.V.** Features of recording and calculating XEOL spectra // Proceedings of the SPIE. – 2005. - Vol. 5773. - P. 175-183.

**10.28. Kochubey V.I., Konyukhova Ju.G.** Features of XEOL spectra evaluation depending on optical density of the sample // Journal of X-ray science and technology. – 2005. - Vol. 13, № 2. - P. 81-84.

**10.29. Kriventsov V.V., Kochubey D.I., Ismagilov Z.R., Podyacheva O.Yu., Nemudry A.P.** EXAFS study of Nb doped Sr(Co/Fe)O<sub>3-x</sub> perovskites // Physica Scripta. – 2005. - Vol. T115. - P. 740-743.

**10.30. Kriventsov V.V., Kochubey D.I., Colón G., Hidalgo M.C., Navio J.A., Tsodikov M.V., Maksimov Yu.V.** EXAFS study of Fe(3+) interaction with ZrO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub> oxides // Physica Scripta. - 2005. - Vol. T115. - P.736-739.

**10.31. Pavlova S., Yaseneva P., Sadykov V., Burgina E., Rogov V.A., Kriventsov V. Moroz E.M.,** Soft chemistry synthesis and properties of ceria-zirconia solid solutions // 7th European Congress on Catalysis: Book of Abstracts, 28 August-1 September 2005, Sofia, Bulgaria. – S.I., 2005. - P. 26.

**10.32. Rakchoun I.V., Menushenkov A.P., Chaitoura D.S., Klementev K.V., Teplov A.A., Mikheeva M.N.** Crystal–quasicrystal structural transition in Al<sub>65</sub>Cu<sub>22</sub>Fe<sub>13</sub> // Nuclear instruments and methods in physics research. Sec. A. – 2005. – Vol. A543, No. 1. - P. 208-211. – Bibliogr.: 8 ref.

**10.33. Sadykov V., Frolova Yu., Alikina G., Lukashevich A., Moroz E., Kriventsov V., Zaikovskii V., Neophytides S.** Lanthanum manganite-doped ceria nanocomposites: synthesis, characterization and performance in CH<sub>4</sub> conversion into syngas // 7th European congress on catalysis: Book of abstracts, 28 August-1 September 2005, Sofia, Bulgaria. – S.L., 2005. - P.310.

**10.34. Sadykov V., Frolova Yu., Alikina G., Lukashevich A., Bunina R., Moroz E., Rogov V., Zaikovskii V., Ishchenko A., Kriventsov V., Orlovskaya N.** One-pot synthesis of mixed ionic-electronic conducting nanocomposites comprised of fluorite-like and perovskite-like phases as catalytic materials for SOFC // Materials Research Society fall meeting, Nov. 27-Dec. 2, 2005, Boston, MA, Symposium O (Nanoparticles and nanosystems in sensors and catalysis). – S.I., 2005. – P. O10.9

**10.35. Sadykov V.A., Frolova Yu.V., Kriventsov V.V., Kochubei D.I., Moroz E.M., Zyuzin D.A., Potapova Yu.V., Muzykantov V.S., Zaikovskii V.I., Burgina E.B., Ivanov V.P., Borhert H., Neophytides S., Kemnitz E., Scheurell K.** Specificity of the local structure of nanocrystalline doped ceria solid electrolytes // Materials Research Society Symposium Proceedings. – 2005. –Vol. 835. – P. 199-204.

**10.36. Sadykov V. A., Voronin V.I., Petrov A.N., Frolova Yu.V., Kriventsov V.V., Kochubei D.I., Zaikovskii V.I., Borchert H., Neophytides S.** Structure specificity of nanocrystalline praseodymia doped ceria // Materials Research Society Symposium Proceedings. – 2005. – Vol. 848. – P. 231-236.

**10.37. Svechnikov N.Y., Stankevich V.G., Lebedev A.M., Menshikov K.A., Kolbasov B.N., Kocherginsky N.M., Rajarathnam D., Kostetski Y., Ivanov S.N., Kriventsov V.V.** Spectroscopic investigations of smooth hydrocarbon deuterated erosion flakes deposited from tokamak T-10 deuterium plasma discharge // Nuclear instruments and methods in physics research. Sec. A. – 2005. – Vol. A543, No. 1. - P. 225-228. – Bibliogr.: 8 ref.

**10.38. Zhuravleva M.H., Zapsis K.V. Konyukhova Ju.G., Kosobudsky I.D., Kochubey V.I., Ushakov N.M.** Structure of copper-containing nanoparticles synthesized in polyethylene matrix // Proceedings of CAOL-2005. – S.I., 2005. - P.81-83

## 11. ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ И ФЛУОРЕСЦЕНТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

**11.1. Cheremnykh V.S., Pustovarov V.A., Timkin V.I., Zatsepin A.F., Zinin E.I.** Time-resolved luminescence of radiation defects in GaPO<sub>4</sub> and AlPO<sub>4</sub> crystals at VUV-excitation // Nuclear instruments and methods in physics research. Sec. A. – 2005. – Vol. A543, No. 1. - P. 239-243. – Bibliogr.: 10 ref.

**11.2. Ivanovskikh K.V., Pustovarov V.A., Shulgin B.V.** Time-resolved luminescent VUV-spectroscopy of pure and doped by rare earth ions crystals of strontium fluoride // Nuclear instruments and methods in physics research. Sec. A. – 2005. – Vol. A543, No. 1. - P. 229-233. – Bibliogr.: 10 ref.

**11.3. Surdo A.I., Pustovarov V.A., Kortov V.S., Kishka A.S., Zinin E.I.** Luminescence in anion-defective  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> crystals over the nano-, micro- and millisecond intervals // Nuclear instruments and methods in physics research. Sec. A. – 2005. – Vol. A543, No. 1. - P. 234-238. – Bibliogr.: 8 ref.

## **12. РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНЫЙ ЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ**

**12.1. Артамонова С.Ю., Колмогоров Ю.П.** Использование метода РФА-СИ при оценке экологического состояния Алданского золотодобывающего района (Якутия) // Поверхность. – 2005. - № 9. – С. 16-20. – Библиогр.: 5 назв. – (Материалы XV Междунар. конф. по использованию синхротронного излучения СИ-2004).

**12.2. Артамонова С.Ю., Колмогоров Ю.П.** Тяжёлые металлы в тканях лиственницы Нерюнгринского промышленного комплекса (по данным РФА-СИ) // Поверхность. – 2005. - № 9. – С. 21-24. – Библиогр.: 5 назв. – (Материалы XV Междунар. конф. по использованию синхротронного излучения СИ-2004).

**12.3. Афанасьев В.П., Воблый П.Д., Колмогоров Ю.П., Уткин А.В., Хавин Н.Г.** Магнитные свойства алмазов природного происхождения // Поверхность. – 2005. - № 9. – С. 60-63. – Библиогр.: 6 назв. – (Материалы XV Междунар. конф. по использованию синхротронного излучения СИ-2004).

**12.4. Бортникова С.Б., Бессонова Е.П., Максимова Н.В., Колмогоров Ю.П., Ожерельева Н.В., Бессонов Д.Ю.** Тяжёлые металлы в районе складированных сульфидных отходов: распределение и пути консервации (Карабаш, Южный Урал) // Поверхность. – 2005. - № 9. – С. 25-29. – Библиогр.: 9 назв. – (Материалы XV Междунар. конф. по использованию синхротронного излучения СИ-2004).

**12.5. Вологина Е.Г., Толмеев А.П., Федорин М.А.** Скорость осадконакопления и годичная слоистость донных отложений оз. Шира (Хакасия) как инструмент для палеоэкологических реконструкций // Четвертая Верещагинская байкальская конференция: Тезисы докладов и стендовых сообщений, (26-30 сентября 2005, Иркутск), Лимнологический институт СО РАН. - Иркутск, 2005. - С. 35-37.

**12.6. Дарьин А.В., Калугин И.А., Вологина Е.Г., Штурм М.** Вариации элементного состава позднеголоценовых осадков Южного Байкала. Возможность палеоклиматических реконструкций высокого разрешения // Четвертая Верещагинская байкальская конференция: Тезисы докладов и стендовых сообщений, Иркутск, 26 сентября - 1 октября, 2005 г. - Иркутск: Изд-во Ин-та географии им. В.Б. Сочавы, 2005. - С. 64.

**12.7. Занин Ю.Н., Цыкин Р.А., Дарьин А.В.** Фосфориты пещеры Археологическая (Хакасия, Восточная Сибирь) // Литология и полезные ископаемые. – 2005. - № 1. – С. 56-64.

**12.8. Иржак Д.В., Шапоренко А.Д., Рощупкин Д.В.** Локальный сканирующий рентгенофлуоресцентный анализ геологических объектов на лабораторном источнике рентгеновского излучения // V Национальная конференция по применению рентгеновского, синхротронного излучений, нейтронов и электронов для исследования наноматериалов и наносистем (Продолжение Всеюз. совещ. по применению рентгеновских лучей для исследования материалов, РСНЭ НАНО-2005, 14-19 ноября 2005 года, Москва: Тезисы докладов. – М.: ИК РАН, 2005. – С. 359.

**12.9. Пальчик Н.А., Мороз Т.Н., Максимова Н.В., Дарьин А.В.** Минеральный и микроэлементный состав мочевых камней // Новое в кристаллохимии и рентгенографии минералов: Материалы выездной сессии, 24-31 июля, 2005, Новосибирск. - Новосибирск, 2005. - С. 72-76.

**12.10. Туркин Г.В., Харинский А.В., Федорин М.А.** Химический состав металлических предметов могильника Шаманка II на Южном Байкале // Социогенез в Северной Азии: Сб. науч. трудов. – Иркутск: Изд-во Иркутского гос. техн. ун-та, 2005. - Ч. 1. - С. 169-175.

**12.11. Федорин М.А., Федотов А.П., Гольдберг Е.Л., Золотарев К.В., Саева О.П., Грачев М.А.** 800-тысячелетняя история палеогеографических перестроек, реконструированных по геохимическим маркерам в осадках Озера Хубсугул (Мон-голия) с разрешением <50 лет // Четвертая Верещагинская байкальская конференция: тезисы докладов и стендовых сообщений, (26-30 сентября 2005, Иркутск). – Иркутск: Лимнологический институт СО РАН, 2005. - С. 202-203.

**12.12. Bobrov V.A., Phedorin M.A., Leonova G.A., Kolmogorov Y.P.** SR XRF element analysis of sea plankton // Nuclear instruments and methods in physics research. Sec. A. – 2005. – Vol. A543, No. 1. - P. 259-265. – Bibliogr.: 9 ref.

**12.13. Daryin A.V., Kalugin I.A., Smolyaninova L.G., Andreev A.A.** Quantitative estimation of Southern Siberia climate for the last eight centuries from high resolution analysis of Lake Teletskoye sediments // Geophysical research abstracts. - 2005. - Vol. 7. - P. A-04355.

**12.14. Daryin A.V., Kalugin I.A., Maksimova N.V., Smolyaninova L.G., Zolotarev K.V.** Use of a scanning XRF analysis on SR beams from VEPP-3 storage ring for research of core bottom sediments from Teletskoe Lake with the purpose of high resolution quantitative reconstruction of last millennium paleoclimate // Nuclear instruments and methods in physics research. Sec. A. – 2005. – Vol. A543, No. 1. - P. 255-258. – Bibliogr.: 6 ref.

**12.15. Fedorin M.A., Goldberg E.L.** Comparison of 400-ky paleoclimatic record from Lake Baikal with the records from Atlantics and Antarctica // Extended abstracts of Third International conference on environmental change in Central Asia, (May 23-27, 2005, Ulanbaatar, Mongolia). - Ulanbaatar, 2005. - Vol.3. - P. 34.

**12.16. Fedotov A.P., Goldberg E.L., Zolotarev K.V., Saeva O.P., Grachev M.A.** Century-resolved history of paleogeographic changes in Lake Khovsgol (Mongolia) during Brunhes chron, reconstructed from geochemical markers in bottom sediments // Extended abstracts of Third International conference on environmental change in Central Asia, (May 23-27, 2005, Ulanbaatar, Mongolia). - Ulanbaatar, 2005. – Vol. 3. - P. 33.

**12.17. Goldberg E.L., Gorbarenko S.A., Shaporenko A.D., Bosin A.A., Leskov V.Yh., Chebykin E.P.** Instability of last glacial climate from SRXFA data for bottom sediments in the Okhotsk Sea // Nuclear instruments and methods in physics research. Sec. A. – 2005. – Vol. A543, No. 1. - P. 284-287. – Bibliogr.: 16 ref.

**12.18. Goldberg E.L., Grachev M.A., Chebykin E.P., Phedorin M.A., Kalugin I.A., Khlystov O.M., Zolotarev K.V.** Scanning SRXF analysis and isotopes of uranium series from bottom sediments of Siberian lakes for high-resolution climate reconstructions // Nuclear instruments and methods in physics research. Sec. A. – 2005. – Vol. A543, No. 1. - P. 250-254. – Bibliogr.: 14 ref.

**12.19. Goldberg E.L., Gorbarenko S.A., Shaporenko A.D., Phedorin M.A., Artemova A.V., Bosin A.A., Zolotarev K.V.** SRXFA for element compositions of bottom sediments from the Okhotsk Sea // Nuclear instruments and methods in physics research. Sec. A. – 2005. – Vol. A543, No. 1. - P. 280-283. – Bibliogr.: 10 ref.

**12.20. Goldberg E.L., Grachev M.A., Chebykin E.P., Phedorin M.A., Kalugin I.A., Khlystov O.M., Zolotarev K.V.** Uranium series isotopes and elements from bottom sediments of Siberian lakes for high-resolution climate reconstructions. - // Proceedings of VII International interdisciplinary scientific symposium and International geoscience programme (IGCP-476), Vladivostok, 2005. – Vladivostok, 2005. - P. 397-399.

**12.21. Gonchar A.M., Kolmogorov U.P., Gladkikh E.A., Shuvaeva O.V., Beisel N.F., Kolosova N.G.** The estimation of the possibilities of synchrotron radiation X-ray fluorescent analysis and atomic spectrometry for the bone's elemental composition determination // Nuclear instruments and methods in physics research. Sec. A. – 2005. – Vol. A543, No. 1. - P. 271-273. – Bibliogr.: 2 ref.

**12.22. Polosmak N.V., Trunova V.A.** An analysis of Pazyryk hair (X-ray fluorescent analysis using synchrotron radiation) // Archaeology, ethnology and anthropology of Eurasia. – 2004. – Vol. 17, No 1. – P. 73-80. (Статья получена в декабре 2005 г.)

**12.23. Phedorin M., Fedotov A., Goldberg E., Zolotarev K., Saeva O., Grachev M.** Century-resolved 1 Myr history of paleogeographic changes in Lake Khubsugul (Mongolia), reconstructed from geochemical markers in lake bottom sediments // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 2005. - Vol 69, N 10, Supplement 1, Goldschmidt Conference abstracts 2005. - P. A695.

**12.24. Phedorin M.A., Goldberg E.L.** Prediction of absolute concentrations of elements from SR XRF scan measurements of natural wet sediments // Nuclear instruments and methods in physics research. Sec. A. – 2005. – Vol. A543, No. 1. - P. 274-279. – Bibliogr.: 12 ref.

**12.25. Trunova V.A., Brenner N.V., Zvereva V.V.** Examination of the chemical elements ratios in human nails (SRXRF) // International conference on analytical chemistry and chemical analysis (Ac&Ca-05): Abstracts, Kyiv, Ukraine, September 12-18, 2005. – Kyiv, 2005. - P. 430.

**12.26. Trunova V.A., Zvereva V.V.** The investigation of elemental distribution in different parts of myocardium in humans with IHD (SRXRF) // International conference on analytical chemistry and chemical analysis (Ac&Ca-05): Abstracts, Kyiv, Ukraine, September 12-18, 2005. – Kyiv, 2005. - P. 353.

**12.27. Trunova V.A., Zvereva V.V.** SRXRF Analysis of biosamples from Pazyryk excavations.// 9th Analytical Russian-German-Ukrainian Symposium (ARGUS-9): Abstracts, Kyiv, Ukraine, September 14-17, 2005. – Kyiv, 2005. - P. 461.

**См. также №№ 6.3, 6.5, 6.6, 6.7**

### **13. ДИФРАКЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РЕНТГЕНОВСКОЕ РАССЕЯНИЕ**

**13.1. Анчаров А.И., Григорьева Т.Ф., Барина А.П., Болдырев В.В.** Дифракционное изучение размерных и морфологических особенностей продуктов взаимодействия твердых металлических сплавов с жидкими с помощью синхротронного излучения // Физикохимия ультрадисперсных (нано)-систем: Материалы VII конференции. – Б.м., 2005. - С. 160.

**13.2. Анчаров А.И., Григорьева Т.Ф., Болдырев В.В.** Изучение особенностей химического взаимодействия твердого и жидкого металлов с использованием дифракции синхротронного излучения // Сборник трудов 8-го Международного симпозиума ODPO-2005. – Б.м., 2005. - С. 165-168.

**13.3. Анчаров А.И., Григорьева Т.Ф., Барина А.П., Болдырев В.В.** Исследование размерных и морфологических особенностей продуктов взаимодействия твердых металлических сплавов с жидкими, используя дифракцию синхротронного излучения // V Национальная конференция по применению рентгеновского, синхротронного излучений, нейтронов и электронов для исследования наноматериалов и наносистем (Продолжение Всеюз. совещ. по применению рентгеновских лучей для исследования материалов, РСНЭ НАНО-2005, 14-19 ноября 2005 года, Москва: Тезисы докладов. – М.: ИК РАН, 2005. – С. 79.

**13.4. Анчаров А.И., Вазина А.А., Кондратьев В.И., Корнеев В.Н., Пиндюрин В.Ф., Сергиенко П.М., Шелестов В.М., Шеромов М.А.** Статус метода фазоконтрастной радиографии биологических объектов на ВЭПП-3 // Поверхность. – 2005. - № 9. – С. 44-48. – Библиогр.: 11 назв. – (Материалы XV Междунар. конф. по использованию синхротронного излучения СИ-2004).

**13.5. Анчаров А.И., Григорьева Т.Ф., Барина А.П., Болдырев В.В.** *In situ* исследование процессов фазообразования при взаимодействии твердых и жидких сплавов // Физикохимия ультрадисперсных (нано)-систем: Материалы VII конференции. – Б.м., 2005. - С. 165.

**13.6. Гаджиев А.М., Аульченко В.М., Вазина А.А., Корнеев В.Н., Сергиенко П.М., Толочко Б.П., Шарафутдинов М.Р., Букин М.А., Титов В.М.** Новая версия методики «дифракционное кино» на основе быстродействующего детектора ОД-3 для станции ДИКСИ накопителя «СИБИРЬ-2» // V Национальная конференция по применению рентгеновского, синхротронного излучений, нейтронов и электронов для исследования наноматериалов и наносистем (Продолжение Всеюз. совещ. по применению рентгеновских лучей для исследования материалов, РСНЭ НАНО-2005, 14-19 ноября 2005 года, Москва: Тезисы докладов. – М.: ИК РАН, 2005. – С. 432.

**13.7. Григорьева Т.Ф., Анчаров А.И., Барина А.П., Болдырев В.В.** *In situ* исследование процессов фазообразования при взаимодействии твёрдых и жидких сплавов // V Национальная конференция по применению рентгеновского, синхротронного излучений, нейтронов и электронов для исследования наноматериалов и наносистем (Продолжение Всеюз. совещ. по применению рентгеновских лучей для исследования материалов, РСНЭ НАНО-2005, 14-19 ноября 2005 года, Москва: Тезисы докладов. – М.: ИК РАН, 2005. – С. 201.

**13.8. Коваленко Н.В., Мытниченко С.В., Чернов В.А.** Адиабатический инвариант Рэлея в когерентной рентгеновской дифракции и оптике // Нанопизика и наноэлектроника: Материалы симпозиума, нижний Новгород, 25 – 29 марта 2005 г. – Н. Новгород: Ин-т физики микроструктур РАН, 2005. – Т. 2, - С. 269-270. – Библиогр.: 16 назв.

**13.9. Ларионов Э.Г., Аладко Е.Я., Журко Ф.В., Лихачёва А.Ю., Анчаров А.И., Шеромов М.А., Курносков А.В., Манаков А.Ю., Горяинов С.В.** Клатратные гидраты гексагональной структуры III при высоких давлениях: структуры и фазовые диаграммы // Журнал структурной химии. – 2005. – Т. 46, приложение. – С. S59-S64. – Библиогр.: 23 назв.

**13.10. Лукьянчиков Л.А., Мержиевский Л.А., Анчаров А.И., Бохонов Б.Б., Зубков П.И., Ляхов Н.З., Прууэл Э.Р., Тен К.А., Толочко Б.П., Шеромов М.А.** Взрывной синтез наночастиц // Экстремальные состояния вещества, детонация, ударные волны: Труды Международной конференции VII Харитоновские тематические научные чтения, 14-18 марта 2005 г. /Под ред. А.Л. Михайлова. – Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2005. – С. 711-715. – Библиогр.: 4 назв.

**13.11. Максимовский Е.А., Файнер Н.И., Косинова М.Л., Румянцев Ю.М.** Эволюция микроструктуры тонких нанокристаллических плёнок карбонитрида кремния // V Национальная конференция по применению рентгеновского, синхротронного излучений, нейтронов и электронов для исследования наноматериалов и наносистем (Продолжение Всеюз. совещ. по применению рентгеновских лучей для исследования материалов РСНЭ НАНО-2005, 14-19 ноября 2005 года, Москва: Тезисы докладов. – М.: ИК РАН, 2005. – С. 231.

**13.12. Мержиевский Л.А., Лукьянчиков Л.А., Прууэл Э.Р., Тен К.А., Титов В.М., Толочко Б.П., Шарафутдинов М.Р., Шеромов М.А.** Исследование структуры и динамики ударно-волнового сжатия аэрогеля с помощью синхротронного излучения // V Национальная конференция по применению рентгеновского, синхротронного излучений, нейтронов и электронов для исследования наноматериалов и наносистем (Продолжение Всеюз. совещ. по применению рентгеновских лучей для исследования материалов, РСНЭ НАНО-2005, 14-19 ноября 2005 года, Москва: Тезисы докладов. – М.: ИК РАН, 2005. – С. 411.

**13.13. Мержиевский Л.А., Ефремов В.П., Зубков П.И., Лукьянчиков Л.А., Тен К.А., Титов В.М., Толочко Б.П., Фортвов В.Е., Шарафуидинов М.Р., Шеромов М.А.** Исследование с помощью синхротронного излучения динамики ударно-волнового сжатия аэрогеля // Экстремальные состояния вещества, детонация, ударные волны: Труды Международной конференции VII Харитоновские тематические научные чтения, 14-18 марта 2005 г. /Под ред. А.Л. Михайлова. – Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2005. – С. 665-669. – Библиогр.: 11 назв.

**13.14. Низовский А.И., Анчаров А.И., Тренихин М.В., Шмаков А.Н., Саланов А.Н., Шарафутдинов М.Р.** Получение и исследование наноразмерных порошков алюминия // V Национальная конференция по применению рентгеновского, синхротронного излучений, нейтронов и электронов для исследования наноматериалов и наносистем (Продолжение Всеюзн. совещ. по применению рентгеновских лучей для исследования материаловб РСНЭ НАНО-2005, 14-19 ноября 2005 года, Москва: Тезисы докладов. – М.: ИК РАН, 2005. – С. 241.

**13.15. Пилюгин В.П., Чернышёв Е.Г., Анчаров А.И., Толочко Б.П., Антонова О.В., Тетерина Т.М., Ивонин Ю.А.** Исследование текстуры сильнодеформированных металлов в СИ-излучении // V Национальная конференция по применению рентгеновского, синхротронного излучений, нейтронов и электронов для исследования наноматериалов и наносистем (Продолжение Всеюзн. совещ. по применению рентгеновских лучей для исследования материалов, РСНЭ НАНО-2005, 14-19 ноября 2005 года, Москва: Тезисы докладов. – М.: ИК РАН, 2005. – С. 414.

**13.16. Прууэл Э.Р., Тен К.А., Лукьянчиков Л.А., Мержиевский Л.А., Зубков П.И., Жогин И.Л., Толочко Б.П., Евдоков О.В., Жуланов В.В., Шехтман Л.И., Аульченко В.М.** Динамика плотности при инициировании зарядов пористого взрывчатого вещества // Экстремальные состояния вещества, детонация, ударные волны: Труды Международной конференции VII Харитоновские тематические научные чтения, 14-18 марта 2005 г. /Под ред. А.Л. Михайлова. – Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2005. – С. 77-81. – Библиогр.: 2 назв.

**13.17. Тен К.А., Евдоков О.В., Жогин И.Л., Жуланов В.В., Зубков П.И., Кулипанов Г.Н., Лукьянчиков Л.А., Мержиевский Л.А., Пирогов Б.Б., Прууэл Э.Р., Титов В.М., Толочко Б.П., Шеромов М.А.** Измерение плотности в зоне реакции цилиндрических зарядов малого диаметра с помощью синхротронного излучения // Экстремальные состояния вещества, детонация, ударные волны: Труды Международной конференции VII Харитоновские тематические научные чтения, 14-18 марта 2005 г. /Под ред. А.Л. Михайлова. – Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2005. – С. 675-680. – Библиогр.: 9 назв.

**13.18. Тен К.А., Евдоков О.В., Жогин И.Л., Жуланов В.В., Зубков П.И., Кулипанов Г.Н., Лукьянчиков Л.А., Мержиевский Л.А., Пирогов Б.Б., Прууэл Э.Р., Титов В.М., Толочко Б.П., Шеромов М.А.** Измерение распределения плотности в детонационных процессах с помощью синхротронного излучения. – Новосибирск, 2005. – 30 с. (Препринт/ РАН; Ин-т ядерн. физики им. Г.И.Будкера СО РАН; ИЯФ 2005-30). – Библиогр.: 12 назв.

**13.19. Толочко Б.П., Титов В.М., Чернышев А.П., Тэн К.А., Прууэл Э.Р., Жогин И.Л., Зубков П.И., Ляхов Н.З., Лукьянчиков Л.А., Шеромов М.А.** Физико-

химическая модель детонационного синтеза наноалмазов. – Новосибирск, 2005. – 15 с. (Препринт/ РАН; Ин-т ядерн. физики им. Г.И.Будкера СО РАН; ИЯФ 2005-48). – Библиогр.: 12 назв.

13.20. Феклистов В.В., Тимченко А.Х., Анчаров А.И., Шеромов М.А., Манаков А.Ю. Камера для рентгеновской дифрактометрии образцов газовых гидратов в диапазоне давлений до 700 атм. // Приборы и техника эксперимента. – 2005. - № 6. - С. 134-136. – Библиогр.: 4 назв.

13.21. Шарафутдинов М.Р., Бохонов Б.Б., Корчагин М.А. Исследование стадийности фазовых переходов в системе Ni+Al+Co методом дифрактометрии СИ // V Национальная конференция по применению рентгеновского, синхротронного излучений, нейтронов и электронов для исследования наноматериалов и наносистем (Продолжение Всеюз. совещ. по применению рентгеновских лучей для исследования материалов, РСНЭ НАНО-2005, 14-19 ноября 2005 года, Москва: Тезисы докладов. – М.: ИК РАН, 2005. – С. 148.

13.22. Ancharov A.I., Nizovskii A.I., Gridnev S.A., Feofilov I.V., Vichkanov A.N. An attempt of in vivo X-ray diffraction analysis of kidney stones with the use of synchrotron radiation // Nuclear instruments and methods in physics research. Sec. A. – 2005. – Vol. A543, No. 1. - P. 302-305. – Bibliogr.: 1 ref.

13.23. Ancharov A.I., Grigorieva T.F. Investigation of the mechanism of interaction between reagents in alloys based on Cu–Ga system // Nuclear instruments and methods in physics research. Sec. A. – 2005. – Vol. A543, No. 1. - P. 139-142. – Bibliogr.: 2 ref.

13.24. Aul'chenko V.M., Bukin M.A., Vazina A.A., Gadzhiev A.M., Korneev B.N., Sergienko P.M., Titov V.M., Tolochko B.P., Sheromov M.A. Current status of the studies of biological objects by the time-resolved X-ray diffraction technique // Nuclear instruments and methods in physics research. Sec. A. – 2005. – Vol. A543, No. 1. - P. 143-147. – Bibliogr.: 33 ref.

13.25. Aul'chenko V.M., Vazina A.A., Galimov P.V., Korneev V.N., Maevskii E.I., Matyushin A.M., Tuzikov F.V., Tuzikova N.A. Determination of some structural and dispersion characteristics of Perftoran emulsions by the small-angle X-ray scattering // Nuclear instruments and methods in physics research. Sec. A. – 2005. – Vol. A543, No. 1. - P. 158-160. – Bibliogr.: 5 ref.

13.26. Chernov V.A., Kondratiev V.I., Kovalenko N.V., Mytnichenko S.V., Zolotarev K.V. Decoherence phenomenon in X-ray diffraction and scattering from rough multilayers // Physica. B. – 2005. – Vol. B357. – P. 232-236. – Bibliogr.: 12 ref.

13.27. Fainer N.I., Kosinova M.L., Maximovsky E.A., Rummyantsev Yu.M., Kuznetsov F.A., Kesler V.G., Kirienko V.V. Study of the structure and phase composition of nanocrystalline silicon oxynitride films synthesized by ICP-CVD // Nuclear instruments and methods in physics research. Sec. A. – 2005. – Vol. A543, No. 1. - P. 134-138. – Bibliogr.: 6 ref.

13.28. Fedotov M.G. The possibility of synchrotron radiation application for a study of small-scale (1–100 nm) heterogeneities in the medium with shock and detonation waves //

Nuclear instruments and methods in physics research. Sec. A. – 2005. – Vol. A543, No. 1. - P. 180-183.

**13.29. Korneev V.N., Sergienko P.M., Matyushin A.M., Shlektarev V.A., Ariskin N.I., Shishkov V.I., Gorin V.P., Sheromov M.A., Aul'chenko V.M., Zabelin A.V., Stankevich V.G., Yudin L.I., Vazina A.A.** Current status of the small-angle station at Kurchatov center of synchrotron radiation // Nuclear instruments and methods in physics research. Sec. A. – 2005. – Vol. A543, No. 1. - P. 368-374. – Bibliogr.: 11 ref.

**13.30. Mytnichenko S.V.** Distorted-wave Born approximation in the case of an optical scattering potential // Physica. B. – 2005. – Vol. B355. – P. 244-249. – Bibliogr.: 16 ref.

**13.31. Ovchinnikova E.N., Dmitrienko V.E., Ishida K., Kirfel A., Collins S.P., Oreshko A.P., Cabaret D., Vedrinskii R.V., Kraizman V.L., Novakovich A.A., Krivitskii E.V., Tolochko B.P.** Atomic displacement effects in near-edge resonant “forbidden” reflections // Nuclear instruments and methods in physics research. Sec. A. – 2005. – Vol. A543, No. 1. - P. 122-126. – Bibliogr.: 17 ref.

**13.32. Ovsyannikov S.V., Manakov A.Y., Ancharov A.I., Likhacheva A.Y., Sheromov M.A., Berger I.F., Shchennikov V.V.** Diffraction study of the pressure-induced phase transformations in PbTe- and PbSe-based ternary compounds with usage of synchrotron radiation // Book of abstracts of MC7: Functional materials for the 21<sup>st</sup> century, July 5–8, 2005, Edinburgh, UK. – S.I., 2005. - P. P164.

**13.33. Ovsyannikov S.V., Manakov A.Y., Ancharov A.I., Likhacheva A.Y., Shchennikov V.V., Berger I.F., Sheromov M.A.** Synchrotron study of pressure-induced phase transitions in doped and non-stoichiometric PbTe and PbSe // Programme and abstracts of 11<sup>th</sup> Intl. conf. on defects: Recognition, imaging and physics in semiconductors (DRIP XI), Sept. 15-19, 2005, Beijing, People's Rep. of China. – S.I., 2005. - P. 145.

**13.34. Ovsyannikov S.V., Manakov A.Y., Ancharov A.I., Likhacheva A.Y., Sheromov M.A., Berger I.F., Shchennikov V.V., Ponosov Y.S.** Synchrotron diffraction study of the pressure-induced transitions in PbTe- and PbSe- ternary compounds // In the Book of abstracts of the Compress workshop on rheology and elasticity studies at ultra-high pressures and temperatures (radial diffraction studies in opposed anvil cells), October 22-23, 2005, Argonne, IL, USA. – S.I., 2005.

**13.35. Rylov G.M., Sheremetyev I.A., Fedorova E.N., Gorfman S.V., Kulipanov G.N., Sobolev N.V.** Registration and measurement of deformation reorientation in natural diamond lattice by the synchrotron Laue-SR method // Nuclear instruments and methods in physics research. Sec. A. – 2005. – Vol. A543, No. 1. - P. 131-133. – Bibliogr.: 3 ref.

**13.36. Ten K.A., Evdokov O.V., Zhogin I.L., Zhulanov V.V., Zubkov P.I., Kulipanov G.N., Luk'yanchikov L.A., Merzhievsky L.A., Pirogov B.Ya., Pruel E.R., Titov V.M., Tolochko B.P., Sheromov M.A.** Density distribution reconstruction of the detonation front of high explosives using synchrotron radiation data // Nuclear instruments and methods in physics research. Sec. A. – 2005. – Vol. A543, No. 1. - P. 170-174. – Bibliogr.: 4 ref.

**13.37. Titov V.M., Tolochko B.P., Ten K.A., Lukyanchikov L.A., Zubkov P.I.** The formation kinetics of detonation nanodiamonds // Synthesis, properties and applications of ul-

trananocrystalline diamond / D.M.Gruen et al., eds. - Springer, 2005. - P. 169-180. – Bibliogr.: 6 ref.

См. также №№ 6.1, 6.2, 6.4, 6.8

#### 14. ДРУГИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

**14.1. Абдильманов В.Г., Воблый П.Д., Куликов В.Ф.** Фокусирующая магнитная система со сверхпроводящим соленоидом EBIS MIS-1 // Седьмой Всероссийский семинар «Проблемы теоретической и прикладной электронной и ионной оптики», 25-27 мая 2005, Москва, Россия: Тезисы докладов. - М.: ГНЦРФ ФГУП НПО «Орион», 2005. – С. 61-62. – Библиогр.: 3 назв.

**14.2. Волосов В.И., Семёнов Е.П., Шешов А.Г., Чуркин И.Н.** Электродный узел для источника полиэнергетических атомных потоков // Прикладная физика. – 2005. - № 1. – С. 91-94.

**14.3. Достовалов Р.В., Краснов А.А.** Криосорбционная откачка газа в сверхпроводящих адронных коллайдерах // Поверхность. – 2005. - № 9. – С. 49-53. – Библиогр.: 7 назв. – (Материалы XV Междунар. конф. по использованию синхротронного излучения СИ-2004).

**14.4. Cherkassky V.S., Knyazev V.A., Kotelnikov I.A., Tyutin A.A.** Braking of a magnetic dipole moving through whole and cut conducting pipes. – Novosibirsk, 2005. – 23 p. – (Preprint/ G.I.Budker inst. of nucl. physics; Budker INP 2005-31). –Bibliogr.: 14 ref.

**14.5. Miginsky S.V., Kulipanov G.N., Vinokurov N.A.** A facility for a few views X-ray tomography of transient processes // Nuclear instruments and methods in physics research. Sec. A. – 2005. – Vol. A543, No. 1. - P. 166-169. – Bibliogr.: 3 ref.

#### 15. НАУЧНО-ПОПУЛЯРНЫЕ СТАТЬИ, ИНТЕРВЬЮ

**15.1. Бугаев М.** Знания или деньги? [Интервью с Г.Н.Кулипановым] // Аргументы и факты. – 2005. - № 6, февраль. – С. 3.

**15.2. Кулипанов Г.Н.** Наука Сибири готова к новой миссии // Сибирская столица. – 2005. - № 39. – С. 34-38.

**15.3. Пиндюрин В.** Синхротронное излучение: проблемы и перспективы. – Энергия – импульс. – 2005. № 11-12, декабрь. – С. 1-2.

## УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ

Абдульманов В.Г.	14.1
Аладко Е.Я.	13.9
Антонова О.В.	13.15
Анчаров А.И.	13.1, 13.2, 13.3, 13.4, 13.5, 13.7, 13.9, 13.10, 13.14, 13.15, 13.20
Артамонова С.Ю.	12.1, 12.2
Аульченко В.М.	9.1, 13.6, 13.16
Афанасьев В.П.	12.3
Барина А.П.	13.1, 13.2, 13.3, 13.5, 13.7
Барышев В.Б.	1.1
Бауск Н.В.	10.10, 10.11
Бессонов Д.Ю.	12.4
Бессонова Е.П.	12.4
Бехтенёв Е.А.	2.1, 2.3
Бобровникова О.Н.	5.1, 5.3
Болдырев В.В.	13.1, 13.2, 13.3, 13.5, 13.7
Болотин В.Р.	3.1
Болотин В.П.	3.2
Бондаренко А.В.	3.3
Бортникова С.Б.	12.4
Бохонов Б.Б.	13.10, 13.21
Брас В.	6.2
Брязкало А.М.	10.7, 10.9
Бугаев М.	15.1
Буданцев А.Ю.	6.3
Букин М.А.	13.6
Бухтияров В.И.	5.2
Вавилов А.М.	6.1
Вазина А.А.	6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 9.1, 13.4
Винокуров Н.А.	3.1, 3.2
Воблый П.Д.	12.3, 14.1
Волков А.М.	6.5
Вологина Е.Г.	12.5, 12.6
Волосов В.И.	14.2
Гаврилов Н.Г.	5.2
Гаджиев А.М.	6.1, 13.6
Генцелев А.Н.	5.1, 5.5, 5.7
Гольдберг Е.Л.	12.11
Гольденберг Б.Г.	5.1, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, 5.7
Горбунова Н.П.	6.2
Горин В.П.	9.1
Горяйнов С.В.	13.9
Горячкова Т.Н.	3.4
Грачёв М.А.	12.11
Григорьева Т.Ф.	13.1, 13.2, 13.3, 13.5, 13.7

Дарьин А.В.	12.6, 12.7, 12.9
Двуреченский А.В.	10.10, 10.11
Дещеревская Н.П.	6.2
Джонг Я.У.	3.3
Дзарасова А.М.	6.3
Долбня И.П.	6.2
Доставалов Р.В.	14.3
Евдоков О.В.	13.16, 13.17, 13.18
Елисеев В.С.	5.1, 5.3, 5.5, 5.6, 5.7
Ефремов В.П.	13.13
Жогин И.Л.	13.16, 13.17, 13.18, 13.19
Жуланов В.В.	13.16, 13.17, 13.18
Журавлёв К.С.	10.10, 10.11
Журавлёва М.Н.	10.1
Журко Ф.В.	13.9
Забелин А.В.	6.1, 9.1
Занин Ю.Н.	12.7
Запис К.В.	10.1
Зверева В.В.	6.5
Золотарёв К.В.	2.2, 6.4, 12.11
Зубков П.И.	13.10, 13.13, 13.16, 13.17, 13.18, 13.19
Зюзин Д.А.	10.3
Ивонин Ю.А.	13.15
Иржак Д.В.	12.8
Кайран Д.А.	3.1, 3.2
Калугин И.А.	12.6
Ким С.Ч.	3.3
Клементьев К.В.	10.7, 10.8, 10.9
Князев Б.А.	3.1, 3.2
Коваленко Н.В.	4.1, 8.1, 13.8
Козлов А.С.	3.4
Колмогоров Ю.П.	12.1, 12.2, 12.3, 12.4
Колобанов Е.И.	3.1, 3.2
Кондратьев В.И.	5.6, 5.7, 6.1, 13.4
Коньшев К.А.	5.4, 5.5
Конюхова Ю.Г.	10.2
Корнеев В.Н.	6.1, 9.1, 13.4, 13.6
Корчагин М.А.	13.21
Косинова М.Л.	13.11
Кособудский И.Д.	10.1
Котенков В.В.	3.1, 3.2
Кочубей В.И.	10.1, 10.2
Кочубей Д.И.	10.3, 10.4, 10.6
Краснов А.А.	14.3
Кривенцов В.В.	10.3, 10.4, 10.5, 10.6
Кубарев В.В.	3.1, 3.2

Кузин М.В.	2.3
Куликов В.Ф.	14.1
Кулипанов Г.Н.	3.1, 3.2, 13.17, 13.18, 15.1, 15.2
Купер Э. А.	2.4, 2.5
Курносов А.В.	13.9
Курьшев Г.Л.	3.1
Ланина Н.Ф.	6.1, 6.2, 6.3, 6.4
Ларионов Э.Г.	13.9
Лев В.Х.	2.5
Левичева Е.Н.	6.5
Легкодымов А.А.	4.1, 5.2
Летягин В.П.	6.1
Ли Б.Ч.	3.3
Литвинов Е.И.	9.1
Лихачёва А.Ю.	13.9
Логинова И.Ю.	6.5
Лукьянчиков Л.А.	13.10, 13.12, 13.13, 13.16, 13.17, 13.18, 13.19
Лях В.В.	4.2, 5.1, 5.2, 5.3, 5.5, 5.6, 5.7
Ляхов Н.З.	13.10, 13.19
Маевский Е.И.	6.1
Максимова Н.В.	12.4, 12.9
Максимовский Е.А.	13.11
Мальшкин С.Б.	3.4
Манаков А.Ю.	13.9, 13.20
Мансуров В.Г.	10.10, 10.11
Матвеев А.Н.	3.1, 3.2
Матюшин А.М.	6.1, 6.4, 9.1
Медведев Л.Э.	3.1, 3.2
Мезенцев Н.А.	2.1, 2.3, 2.4, 2.5
Мезенцева Л.А.	5.1, 5.3, 5.6, 5.7
Менушенков А.П.	10.7, 10.8, 10.9
Мержиевский Л.А.	13.10, 13.12, 13.13, 13.16, 13.17, 13.18
Мигинская Е.Г.	2.1, 2.3, 2.4, 2.5
Мигинский С.В.	3.1, 3.2, 3.3
Мироненко Л.А.	3.1, 3.2
Михеева М.Н.	10.7, 10.8, 10.9
Мороз Т.Н.	12.9
Мытниченко С.В.	13.8
Найда О.В.	6.4, 9.1
Ненашев А.В.	10.10, 10.11
Низовский А.И.	5.2, 13.14
Никифоров А.И.	10.10, 10.11
Николенко А.Д.	4.1, 4.2, 5.2
Овчар В.К.	3.1, 3.2
Ожерельева Н.В.	12.4
Окунева Г.Н.	6.5
Орешков А.Д.	3.1, 3.2

Пак С.Х.	3.3
Пальчик Н.А.	12.9
Пельтек С.Е.	3.4
Петров А.К.	3.1, 3.4
Петрова Е.В.	5.1, 5.3, 5.6, 5.7
Пилюгин В.П.	13.15
Пиндюрин В.Ф.	4.1, 4.2, 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, 5.7, 13.4, 15.3
Пирогов Б.Б.	13.17, 13.18
Полетаев И.В.	5.2
Пономарёва К.Ю.	10.1
Попик В.М.	3.1, 3.2, 3.4
Прууэл Э.Р.	13.10, 13.12, 13.16, 13.17, 13.18, 13.19
Ракшун Я.В.	10.7, 10.8, 10.9
Репков В.В.	2.4, 2.5
Рощупкин Д.В.	12.8
Румянцев Ю.М.	13.11
Рудыч П.Д.	3.1
Садыков В.А.	10.3
Саева О.П.	12.11
Саланов А.Н.	13.14
Саликова Т.В.	3.1, 3.2
Семёнов Е.П.	5.2, 14.2
Сергиенко П.М.	6.1, 9.1, 13.4, 13.6
Средняков С.С.	3.1, 3.2, 3.5
Скринский А.Н.	3.1, 3.2
Смагина Ж.В.	10.10, 10.11
Станкевич В.Г.	9.1
Стешов А.Г.	14.2
Сыроватин В.М.	2.5
Тарабан М.Б.	3.1, 3.4
Тен К.А.	13.10, 13.12, 13.13, 13.16, 13.17, 13.18
Теплов А.А.	10.7, 10.8, 10.9
Тетерина Т.М.	13.15
Тимченко А.Х.	13.20
Титов В.М.	13.6, 13.12, 13.13, 13.17, 13.18, 13.19
Толмеев А.П.	12.5
Толочко Б.П.	6.1, 13.6, 13.10, 13.12, 13.13, 13.15, 13.16, 13.17, 13.18, 13.19
Торопов А.И.	10.10, 10.11
Тренихин М.В.	13.14
Трунова В.А.	6.3, 6.4, 6.5
Туркин Г.В.	12.10
Тэн К.А.	13.19
Уткин А.В.	12.3
Ушаков Н.М.	10.1
Файнер Н.И.	13.11
Федорин М.А.	12.5, 12.10, 12.11
Федотов А.П.	12.11

Феклистов В.В.	13.20
Фомин В.М.	3.1
Фортов В.Е.	13.13
Фролова Ю.В.	10.3
Хавин Н.Г.	12.3
Хан Я.Х.	3.3
Харинский А.В.	12.10
Холопов М.А.	5.2
Хрущёв С.В.	2.1, 2.3, 2.5
Цодиков М.В.	10.4, 10.6
Цуканов В.М.	2.1, 2.3, 2.4, 2.5
Цыкин Р.А.	12.7
Черкасский В.С.	3.1
Чернов В.А.	4.1, 5.2, 13.8
Чернов В.В.	4.2
Чернышев А.П.	13.19
Чернышёв Е.Г.	13.15
Чернявский А.М.	6.5
Черняев А.Л.	6.1
Чесноков Е.Н.	3.1
Чугунова О.В.	10.2
Чуркин И.Н.	14.2
Шайтура Д.С.	10.8, 10.9
Шапоренко А.Д.	12.8
Шарафутдинов М.Р.	13.6, 13.12, 13.13, 13.14, 13.21
Шевченко О.А.	3.1, 3.2, 3.6
Шелестов В.М.	13.4
Шеромов М.А.	5.2, 9.1, 13.4, 13.9, 13.10, 13.12, 13.13, 13.17, 13.18, 13.19, 13.20
Шехтман Л.И.	13.16
Шишкина Л.Н.	3.1
Шкаруба В.А.	2.1, 2.3, 2.5
Шлектарев В.А.	9.1
Шмаков А.Н.	13.14
Штурм М.	12.6
Щеглов М.А.	3.1, 3.2
Щёголев Л.М.	5.5
Эренбург С.Б.	10.10, 10.11
Яковенко Е.О.	5.1
Яковлев В.И.	3.1
Afanas'ev I.	4.3
Aliiev V.	10.26
Alikina G.	10.22, 10.33, 10.34

Alikina G.M.	10.24
Ancharov A.I.	1.2, 13.22, 13.23, 13.32, 13.33, 13.34
Andreev A.A.	12.13
Ariskin N.I.	13.29
Artemova A.V.	12.19
Asylgushina G.N.	10.12
Aulchenko A.	7.1
Aul'chenko V.M.	13.24, 13.25, 13.29
Avakyan S.	4.3
Baryshev V.B.	1.2
Batrakov A.	2.7, 2.8, 2.9
Batrakov A.M.	2.6
Bausk N.V.	10.13, 10.14, 10.15, 10.16, 10.17, 10.18, 10.19, 10.20, 10.21, 10.25
Beisel N.F.	12.21
Berger I.F.	13.32, 13.33, 13.34
Bikkulova N.N.	10.12
Blokhov M.	1.3
Bobrov V.A.	12.12
Bogomolov G.D.	3.7, 3.8
Bolotin V.P.	3.9,, 3.10, 3.11, 3.12
Bondarenko A.V.	3.13
Borchert H.	10.36
Borhert H.	10.35
Bosin A.A.	12.17, 12.19
Bras W.	6.8, 10.13, 10.14, 10.19, 10.21
Brenner N.V	12.25
Briquez F.	2.9
Budantsev A.Yu.	6.8
Buhtiyarov V.I.	4.4
Bukin M.A.	13.24
Bunina R.	10.34
Burgina E.	10.22, 10.31
Burgina E.B.	10.35
Cabaret D.	13.31
Cha H.J.	3.16
Chaitoura D.S.	10.32
Chebykin E.P.	12.17, 12.18, 12.20
Cheremnykh V.S.	11.1
Cherkassky V.S.	3.9, 3.10, 3.14, 3.15, 14.4
Chernov V.A.	1.2, 4.4, 4.5, 8.2, 13.26
Chernyaev A.L.	6.8
Chesnokov E.N.	3.9, 3.10
Chubar O.	2.9
Chugunova O.V.	10.27
Churkin I.	2.7
Churkin I.N.	2.9
Collins S.P.	13.31
Colón G.	10.4, 10.6, 10.30

Dael A.	2.9
Daryin A.V.	12.13, 12.14
Deshcherevskaya N.P.	6.8
Dmitrienko V.E.	13.31
Dolnya I.P.	6.8
Dvurechenskii A.V.	10.14, 10.19, 10.21
Erdmann M.	2.10
Erenburg S.	10.26
Erenburg S.B.	10.13, 10.14, 10.15, 10.16, 10.17, 10.18, 10.19, 10.20, 10.21, 10.25
Evdokov O.	7.1
Evdokov O.V.	13.35
Fainer N.I.	13.27
Fedorin M.A.	12.15, 12.18, 12.19
Fedorova E.N.	13.35
Fedotov A.	12.23
Fedotov A.P.	12.16
Fedotov M.G.	7.2, 13.28
Feofilov I.V.	13.22
Fisenko A.N.	7.3
Frolova Yu.	10.22, 10.33, 10.34
Frolova Yu.V.	10.23, 10.24, 10.35, 10.36
Gabuda S.P.	10.25
Gadzhiev A.M.	6.8, 13.24
Galimov P.V.	13.25
Gavrilov N.G.	4.4, 8.3
Gentselev A.N.	1.2, 4.4
Gladkikh E.A.	12.21
Goldberg E.	12.23
Goldberg E.L.	12.15, 12.16, 12.17, 12.18, 12.19, 12.20, 12.24
Goldenberg B.G.	1.2, 4.4
Gonchar A.M.	12.21
Gorbarenko S.A.	12.17, 12.19
Gorfman S.V.	13.35
Gorin V.P.	13.29
Goryachkovskaya T.N.	3.21
Grachev M.	12.23
Grachev M.A.	12.16, 12.18, 12.20
Gridnev S.A.	13.22
Grigorieva T.F.	13.23
Gritsenko D.	10.26
Gritsenko V.	10.26
Hidalgo M.C.	10.4, 10.6, 10.30
Ilyin I.	2.8
Ishchenko A.	10.34
Ishida K.	13.31
Ismagilov Z.R.	10.29

Ivanov K.V.	4.6
Ivanov S.N.	10.37
Ivanov V.P.	10.35
Ivanovskikh K.V.	11.2
<b>Jeong Uk.Y.</b>	3.7, 3.8
<b>Jeong Y.U.</b>	3.16
Kalugin I.A.	12.13, 12.14, 12.18, 12.20
Kayran D.A.	3.12
Kazakevitch G.M.	3.7, 3.8, 3.16
Kemnitz E.	10.35
Kesler V.G.	13.27
Khavin N.	2.11
Khlystov O.M.	12.18, 12.20
Khokhlov D.F.	4.6
Kholopov M.A.	4.4
Khrebtov I.A.	4.6
Khruschev S.V.	2.6
Kim C.W.	10.26
Kirfel A.	13.31
Kirienko V.V.	13.27
Kiselev O.	2.7
Kishka A.S.	11.3
Klementev K.V.	10.32
Knyazev B.A.	3.9, 3.10, 3.11, 3.12, 3.14, 3.15, 14.4
Kocherginsky N.M.	10.37
Kochubei D.	10.22
Kochubei D.I.	1.2, 10.35, 10.36
Kochubey D.I.	10.12, 10.23, 10.29, 10.30,
Kochubey V.I.	10.27, 10.28, 10.38
Kolbasov B.N.	10.37
Kolmakov M.V.	7.2
Kolmogorov U.P.	12.21
Kolmogorov Y.P.	12.12
Kolobanov E.I.	3.9, 3.10, 3.11, 3.12, 3.17, 3.18
Kolokolnikov Y.	2.9
Kolosova N.G.	12.21
Kondratiev V.I.	13.26
Konyukhova Ju.G.	10.27, 10.28, 10.38
Korchuganov V.	1.3, 2.7
Korchuganov V.N.	1.2
Korneev B.N.	13.24
Korneev V.N.	6.8, 13.25, 13.29
Kortov V.S.	11.3
Kosinova M.L.	13.27
Kosobudsky I.D.	10.38
Kosov A.V.	7.3
Kostetski Y.	10.37
Kotelnikov I.A.	14.4
Kotenkov V.V.	3.9, 3.10, 3.11, 3.12, 3.17, 3.18

Kovalchuk M.	1.3
Kovalenko N.V.	13.26
Kozak V.R.	7.3
Kozhevnikov A.V.	3.19
Kozlov A.S.	3.9, 3.10, 3.21
Kozlov S.V.	3.15
Kozlova S.G.	10.25
Kraemer D.	2.6
Kraizman V.L.	13.31
Kriventsov V.	10.22, 10.31, 10.33, 10.34
Kriventsov V.V.	10.23, 10.24, 10.29, 10.30, 10.35, 10.36, 10.37
Krivitskii E.V.	13.31
Krylov Y.	1.3
Kubarev V.V.	3.9, 3.10, 3.11, 3.12, 3.14, 3.15, 3.17, 3.18
Kulipanov G.N.	1.2, 2.6, 3.9, 3.10, 3.11, 3.12, 3.14, 3.15, 3.17, 3.18, 4.4, 10.14, 10.19, 10.20, 10.21, 13.35, 13.36, 14.5
Kuper E.A.	7.3
Kuper K.E.	8.2
Kuroda M.	2.7
Kuryshv G.L.	3.14
Kuzin M.V.	1.2, 1.3
Kuzmin A.V.	3.20
Kuznetsov F.A.	13.27
Kvardakov V.	1.3
Lanina N.F.	6.8
Lebedev A.M.	10.37
Lee B.C.	3.7, 3.8, 3.16
Lee J.H.	10.26
Lee J.-W.	10.26
Legkodymov A.A.	4.4, 8.2
Leonova G.A.	12.12
Leskov V.Yh.	12.17
Letyagin V.P.	6.8
Lev V.H.	2.6
Levichev E.	2.11
Levichev E.B.	1.2
Likhacheva A.Y.	13.32, 13.33, 13.34
Lukashevich A.	10.22, 10.33, 10.34
Lukashevich A.I.	10.24
Lukyanchikov L.A.	13.37
Luk'yanchikov L.A.	13.36
Lyakh V.V.	4.4, 4.4, 8.2
Maevskii E.I.	13.25
Maevsky E.I.	6.8
Makashov E.V.	3.18
Maksimov Yu.V.	10.30
Maksimova N.V.	12.14
Malyarov V.G.	4.6
Malyshkin S.B.	3.21
Manakov A.Y.	13.32, 13.33, 13.34

Mansurov V.G.	10.13, 10.14, 10.21
Matveenکو A.N.	3.9, 3.10, 3.11, 3.12, 3.14, 3.15, 3.17, 3.18
Matyushin A.M.	6.8, 13.25, 13.29
Maximovsky E.A.	13.27
Mazalov L.N.	10.13, 10.15, 10.16, 10.17
Medvedev L.E.	3.9, 3.10, 3.11, 3.12, 3.17, 3.18
Menshikov K.A.	10.37
Menushenkov A.P.	10.32
Merzhievsky L.A.	13.36
Meshkov O.I.	4.4
Mezentsev N.A.	1.2, 2.6,
Mezentseva N.	10.22
Miginsky E.G.	2.6
Miginsky S.V.	3.9, 3.10, 3.12, 3.13, 14.5
Mikheeva M.N.	10.32
Mironenko L.A.	3.9, 3.10, 3.12
Mishnev S.I.	1.2
Mohr J.	8.2
Moroz E.	10.22, 10.33, 10.34
Moroz E.M.	10.23, 10.24, 10.31, 10.35
Moseiko L.	1.3
Moseiko N.	1.3
Muzykantov V.S.	10.35
Mytnichenko S.V.	13.26, 13.30
Nasyrov K.	10.26
Navio J.A.	10.4, 10.6, 10.30
Nazmov V.P.	8.2
Nemudry A.P.	10.29
Neofitides S.	10.23
Neophytides S.	10.3, 10.33, 10.35, 10.36
Nikiforov A.I.	10.14, 10.15, 10.19, 10.21
Nikitenko S.	10.13, 10.14, 10.19, 10.21
Nikitin A.K.	3.7, 3.8
Nikolenko A.	4.3
Nikolenko A.D.	1.2, 4.4, 4.5, 4.6
Nizovskii A.I.	13.22
Nizovsky A.I.	4.4
Novakovich A.A.	13.31
Novikov V.	1.3
Odintsov D.	1.3
Oreshko A.P.	13.31
Oreshkov A.D.	3.9, 3.10, 3.11, 3.12, 3.17, 3.18
Orlovskaya N.	10.34
Ovchar V.K.	3.9, 3.10, 3.12, 3.18
Ovchinnikova E.N.	13.31
Ovsyannikov S.V.	13.32, 13.33, 13.34
Palagin K.S.	3.18
Park S.H.	3.16
Panov V.V.	10.25

Paukshtis E.	10.22
Pavlova S.	10.31
Peltek S.E.	3.21
Persov B.Z.	3.11
Petrov A.K.	3.9, 3.10, 3.14, 3.21
Petrov A.N.	10.36
Pfluger J.	2.10
Phedorin M.	12.23
Phedorin M.A.	12.12, 12.20, 12.24
Philipchenko A.	2.7
Pindyurin V.	4.3
Pindyurin V.F.	1.2, 1.3, 4.4, 4.5, 4.6, 8.2
Pirogov B.Ja.	7.3
Pirogov B.Ya.	13.36
Pischenuk S.M.	7.2
Podolsky I.Ya.	6.8
Podyacheva O.Yu.	10.29
Poletaev I.V.	4.4
Polosmak N.V.	12.22
Ponosov Y.S.	13.34
Poon M.C.	10.26
Popik V.M.	3.9, 3.10, 3.11, 3.12, 3.14, 3.15, 3.17, 3.18, 3.19, 3.21
Potapova Yu.V.	10.35
Pruuel E.R.	13.36
Pustovarov V.A.	11.1, 11.2, 11.3
Rajarithnam D.	10.37
Rakshun I.V.	10.32
Rakshun Ya.V.	4.4
Reznikova E.F.	8.2
Rezvov V.	1.3
Rijova T.A.	3.7
Rogov V.	10.34
Rogov V.A.	10.31
Root D.N.	3.15
Rouvinski E.	2.9
Rudych P.D.	3.9, 3.10, 3.15
Rumyantsev Yu.M.	13.27
Rylov G.M.	13.35
Sadykov V.	10.22, 10.31, 10.33, 10.34
Sadykov V.A.	10.23, 10.24, 10.35, 10.36
Saeva O.	12.23
Saeva O.P.	12.16
Saile V.	8.2
Salikova T.V.	3.9, 3.10, 3.11, 3.12, 3.17, 3.18
Samsonova M.V.	6.8
Scheglov M.A.	3.9, 3.10, 3.11, 3.12, 3.14, 3.17, 3.18
Schegolev L.	2.7
Scheurell K.	10.35
Schreiner K.	2.7
Semenov E.	2.9

Semenov E.P.	4.4
Serednyakov S.S.	3.9, 3.10, 3.11, 3.12, 3.17, 3.18
Sergienko P.M.	6.8, 13.24, 13.29
Shaimeev S.	10.26
ShamirsaeV T.S.	10.13
Shaporenko A.D.	12.17, 12.19
Sharafutdinov M.R.	1.2, 6.8
Shchennikov V.V.	13.32, 13.33, 13.34
Shekhtman L.	7.1
Sheremetyev I.A.	13.35
Sheromov M.A.	1.2, 4.4, 6.8, 7.3, 8.3, 13.24, 13.29, 13.32, 13.33, 13.34, 13.36
Shevchenko O.A.	3.9, 3.10, 3.11, 3.12, 3.14, 3.15, 3.17, 3.18, 3.20
Shishkov V.I.	13.29
Shkaruba V.A.	2.6
Shlektarev V.A.	13.29
Shmakov A.N.	1.2
Shulgin B.V.	11.2
Shulman R.S.	10.16, 10.17
Shuvaeva O.V.	12.21
Simonova N.B.	6.8
Sinyatkin S.	2.7
Skrinsky A.N.	3.9, 3.10, 3.12
Smolyaninova L.G.	12.13, 12.14
Sobolev N.V.	13.35
Stankevich V.G.	6.8, 10.37, 13.29
Steshov A.	2.7, 2.9
Surdo A.I.	11.3
Svechnikov N.Y.	10.37
Syrovatin V.M.	2.6
Tapilin V.	10.26
Taraban M.B.	3.9, 3.10, 3.21
Tcheskidov V.	2.10
Ten K.	7.1
Ten K.A.	13.36, 13.37
Teplov A.A.	10.32
Timchenko N.A.	3.19
Timkin V.I.	11.1
Tisher M.	2.11
Titov V.M.	13.24, 13.36, 13.37
Titova S.G.	10.12
Tolochko B.	7.1
Tolochko B.P.	1.2, 8.3, 13.24, 13.31, 13.36, 13.37
Torgov V.G.	10.16, 10.17, 10.18, 10.20
Toropov A.I.	10.13, 10.14, 10.21
Trakhtenberg E.	2.10
Trifutina A.V.	3.15
Trunova V.A.	6.6, 6.7, 6.8, 12.22, 12.25, 12.26, 12.27
Tsodikov M.V.	10.30
Tsuchida Y.	2.7
Tsukanov V.M.	2.6

Tuzikov F.V.	13.25
Tuzikova N.A.	13.25
Tyutin A.A.	14.4
Us T.V.	10.16, 10.17
Ushakov N.M.	10.38
Ushakov V.	2.7
Ushkov V.	1.3
Utkin A.	2.11
Uvarov N.F.	10.24
Valentinov A.	1.3
Vasserman I.	2.10
Vavilov V.M.	6.8
Vazina A.A.	6.8, 13.24, 13.25, 13.29
Vedrinskii R.V.	13.31
Vernov A.	1.3
Vichkanov A. N.	13.22
Vinokurov N.	2.10
Vinokurov N.A.	1.2, 3.9, 3.103.11, 3.12, 3.14, 3.15, 3.17, 3.18, 3.20, 14.5
Vobly P.	2.9
Vobly P.D.	1.2, 2.11
Voronin N.	4.3
Voronin V.I.	10.36
Wong H.	10.26
Yakimov A.I.	10.15, 10.19
Yaseneva P.	10.31
Yudin L.	1.3
Yudin L.I.	13.29
Yupinov Y.	1.3
Zabaev V.N.	3.19
Zabelin A.V.	13.29
Zaigraeva N.S.	3.9, 3.10
Zaikovskii V.	10.22, 10.33, 10.34
Zaikovskii V.I.	10.24, 10.35, 10.36
Zapsis K.V.	10.38
Zatsepin A.F.	11.1
Zavyalov V.V.	3.7, 3.8
Zheludeva S.	1.3
Zhizhin G.N.	3.7, 3.8
Zhogin I.	7.1
Zhogin I.L.	8.3, 13.36
Zhulanov V.	7.1
Zhulanov V.V.	13.36
Zhuravlev K.S.	10.13
Zhuravleva M.H.	10.38
Zinin E.I.	11.1, 11.3
Zjurba V.K.	2.6

Zolotarev K.	12.23
Zolotarev K.V.	1.2, 2.6, 7.3, 12.14, 12.16, 12.18, 12.19, 12.20, 13.26
Zubkov N.	2.11
Zubkov P.I.	13.36, 13.37
Zvereva V.V.	6.6, 6.7, 12.25, 12.26, 12.27
Zyryanov V.V.	10.24
Zyuzin D.A.	10.23, 10.35