Центр коллективного пользования «Сибирский кольцевой источник фотонов»

В.И. Бухтияров, Я.В. Ракшун

**** – Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН***

***** – Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН***

Цель проекта:

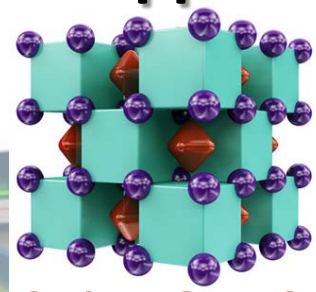
Создание отечественной сетевой инфраструктуры синхротронных исследований нового поколения:

- **пилотный объект в СО РАН** (р.п. Кольцово, НСО),
- головной объект в НИЦ «Курчатовский институт» (Протвино, МО),
- специализированный объект в ДФО (о. Русский, Владивосток).

Задачи проекта:

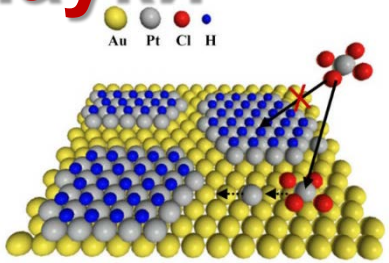
1. **Формирование конкурентной инфраструктуры и среды, соответствующей современным стандартам научных исследований.**
2. **Увеличение количества исследований мирового уровня, в том числе, по приоритетным направлениям научно-технологического развития Российской Федерации**
3. **Формирование системы профессионального роста научных кадров, обеспечивающей условия для создания научных лабораторий и конкурентоспособных коллективов**
4. **Увеличение доли конкурентоспособной продукции отечественного наукоемкого бизнеса и промышленности на мировом рынке**

Источники синхротронного излучения сегодня:



Химические науки

Материаловедение

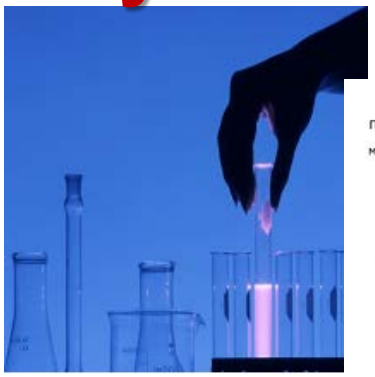


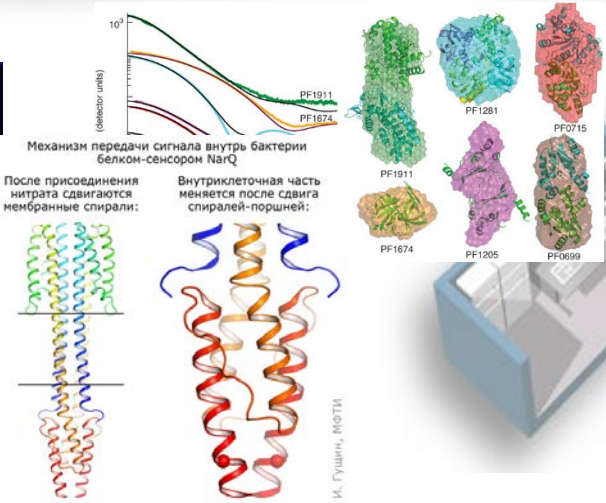
исследования на стыке наук-

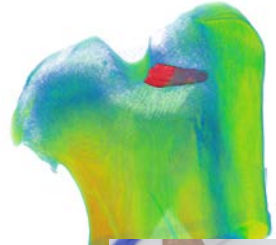
мультидисциплинарность

Гуманитарные науки

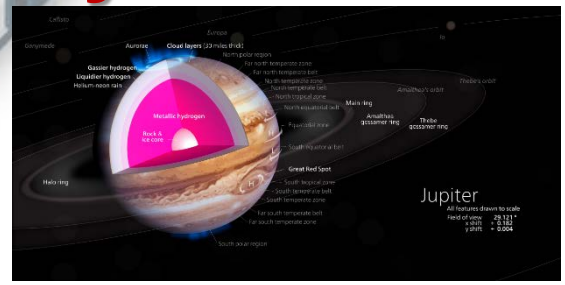
Биологические и медицинские науки







Науки о Земле



Источники синхротронного излучения сегодня:

Более 50 источников СИ в мире:

3-го поколения: 15

4-го поколения: 1 (+1)

в России

источников – 3, из них:

специализированный – 1,

поколение 2-е

США - 10

Германия – 6

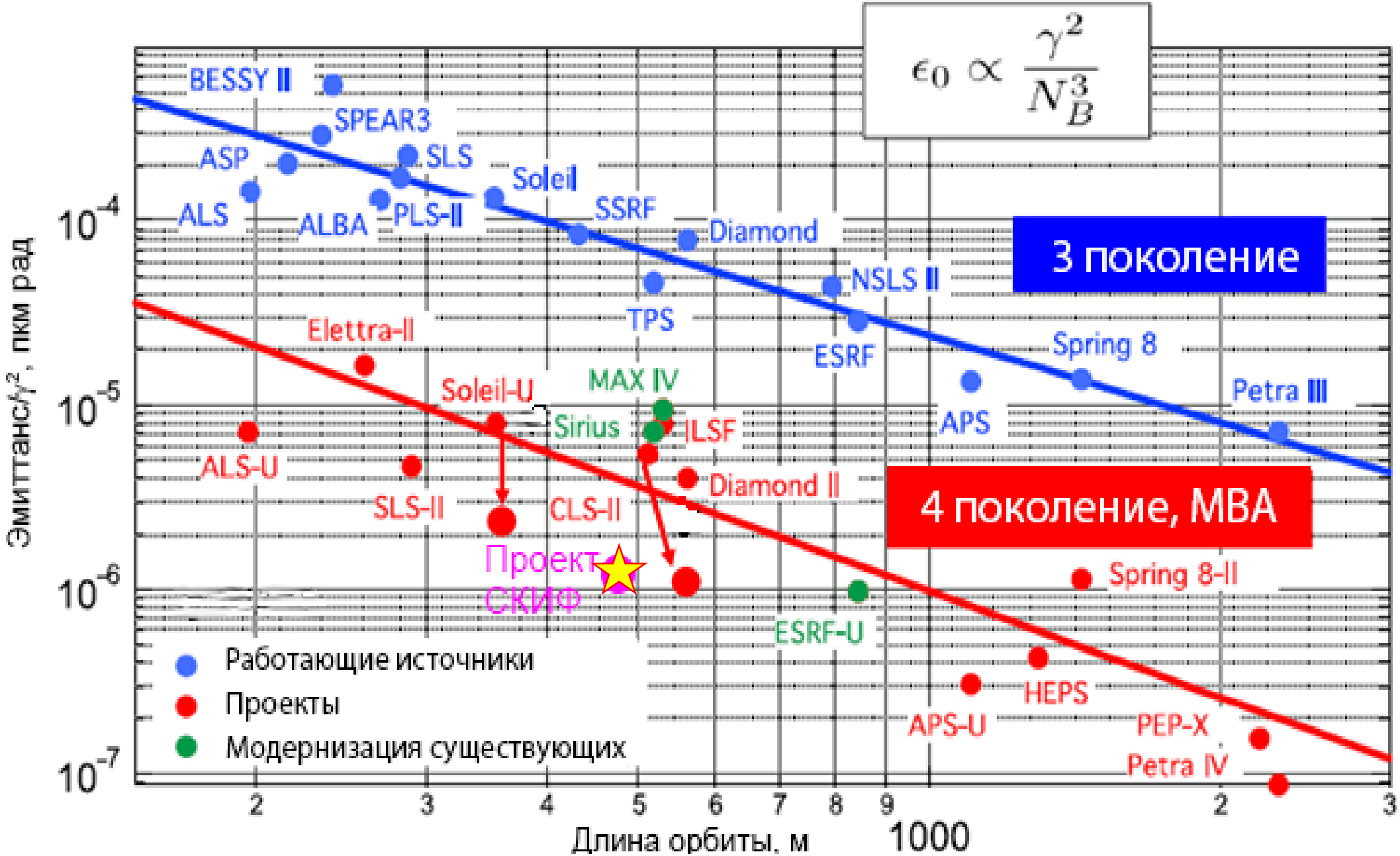
Франция – 2 (6 ГэВ и 3 ГэВ)

Япония - более 15

Количество пользователей в мире превышает

50 000 человек

Источники СИ



Параметры источника:

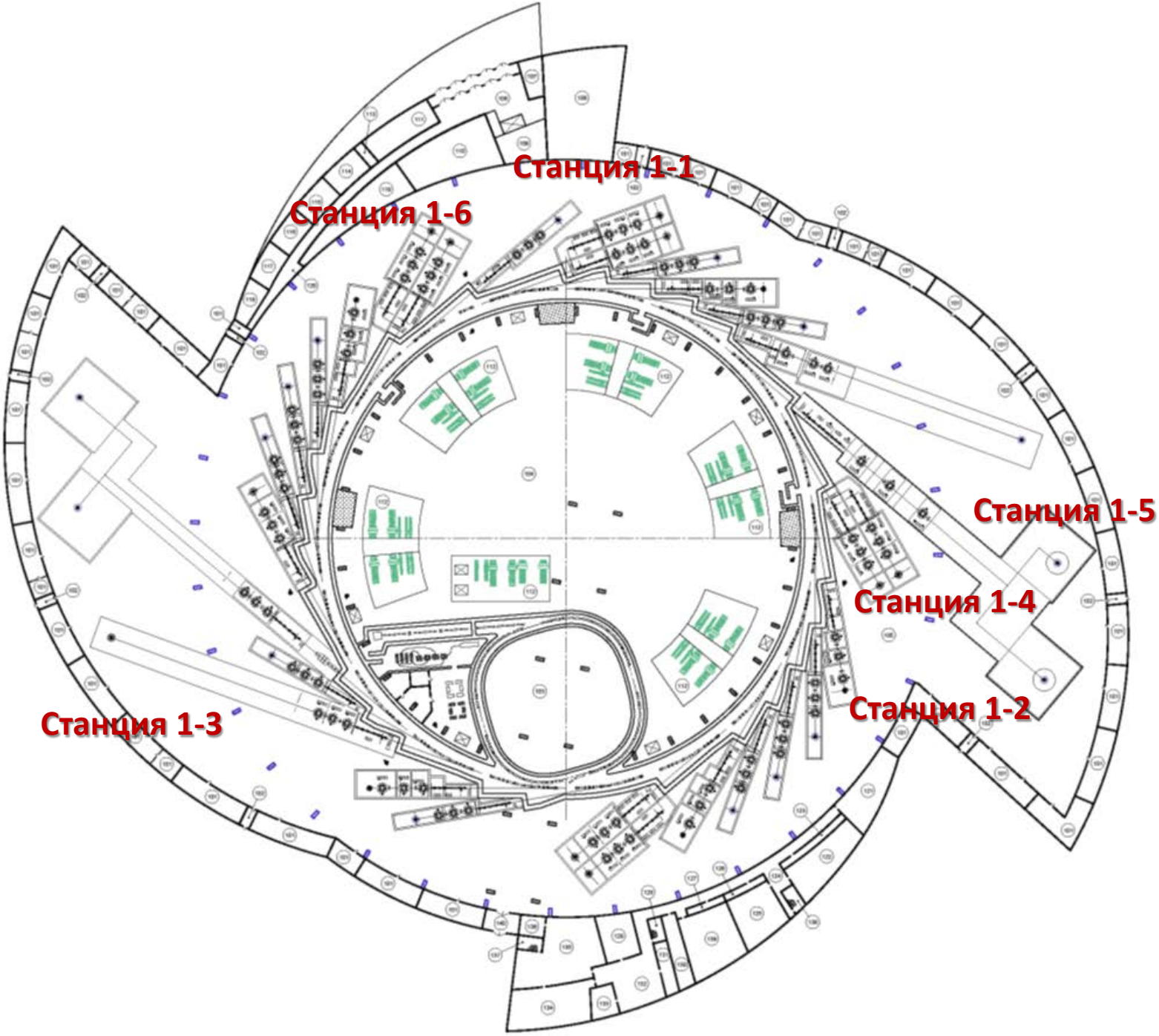
Рабочая энергия, ГэВ	3
Периметр, м	477
Эмиттанс, пм*рад (без учёта специальных решений)	186
Эмиттанс, пм*рад (с учётом специальных решений)	60
Установленная электрическая мощность, КВА	20 000
Количество суперпериодов / прямолинейных участков для устройств генерации	18 / 14
Экспериментальных станций 1-й очереди	6
Полное количество экспериментальных станций (вигглеры, ондуляторы, шифтеры, поворотные магниты)	32
Персонал, чел	300
Количество пользователей (ежегодно), чел	до 10 000
Количество публикаций в год в расчёте на станцию	от 20
Количество организаций-пользователей после выхода на проектную мощность, в год	более 200
Количество студентов / аспирантов, в год	до 500 / до 250

Экспериментальные возможности и задачи ЦКП «СКИФ» - первая очередь проекта

Экспериментальные станции

1. МИКРОФОКУС
2. Структурная диагностика
3. Быстропротекающих процессов
4. XAFS-спектроскопия и магнитный дихроизм
5. Диагностика в высокоэнергетическом рентгеновском диапазоне
6. Электронная структура

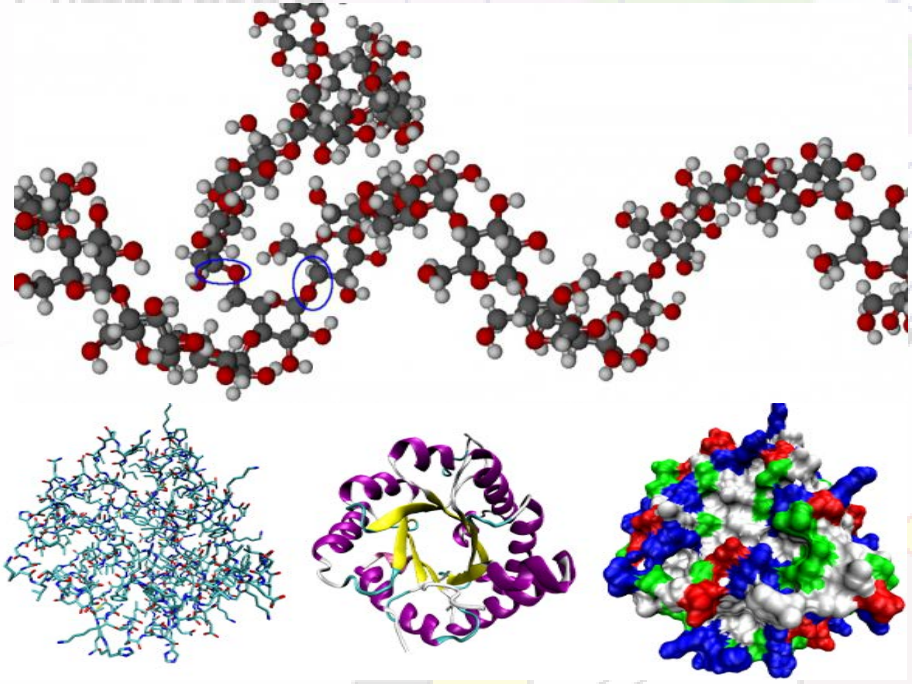
План первого этажа



Экспериментальные станции первой очереди

1. Станция «МИКРОФОКУС» – сочетание уникального преимущества источника СИ 4-го поколения — сверхмалого эмиттанса — и последних достижений рентгеновской оптики для решения приоритетных задач фундаментальной и прикладной науки, требующих применения высокоинтенсивных сфокусированных пучков СИ.

Блок задач 1. Расшифровка структур биополимеров (ИХБФМ СО РАН, ИМКБ СО РАН, НГУ) механизм функционирования живых организмов, передачи наследственной информации, поведение вирусов, механизмы действия лекарственных препаратов, изучение причин возникновения заболеваний и направленного дизайна лекарственных препаратов.



Минимальное время сбора данных!

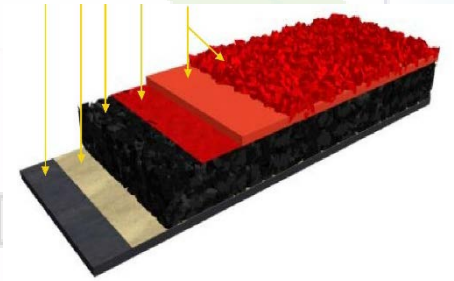
- ✓ изучения структуры важнейших участников системы репарации человека (белков и их комплексов с нуклеиновыми кислотами, лигандами, ингибиторами);
- ✓ изучения структуры важнейших белковых комплексов систем геномного редактирования;
- ✓ анализ структуры комплексов ингибиторов систем репарации ДНК с белками-мишенями для создания эффективных терапевтических препаратов.

Экспериментальные станции первой очереди

1. Станция «МИКРОФОКУС»

Блок задач 2.

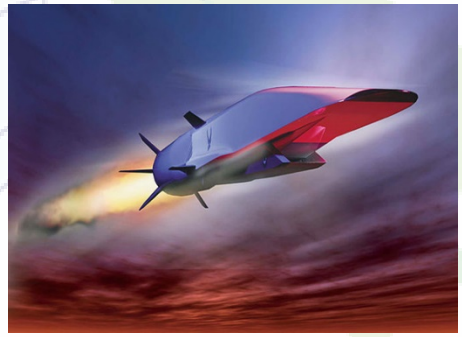
Создание новых материалов (ИТПМ СО РАН, ИГМ СО РАН)



1. Многоэлементный рентгенофлуоресцентный анализ с перестраиваемой энергией возбуждения
2. Рентгеновская дифракция с субмикронным пространственным разрешением
3. Спектроскопия рентгеновского поглощения (EXAFS, XANES)
4. Спектроскопия ядерного гамма-резонанса с субмикронным пространственным разрешением с магнитным полем до 17 Т и температурой от 5К до 300К

Высокая интенсивность и возможность фокусировка используемого СИ позволяют обеспечивать высокую производительность анализа, в том числе в режиме картирования.

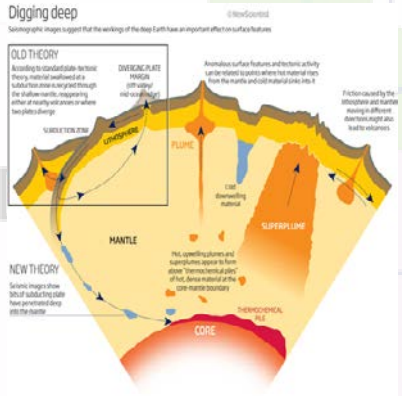
- ✓ Изучение структуры, фазового состава, остаточных напряжений в высокопрочных многокомпонентных сплавах; металлических и металлокерамических покрытий, полученных различными методами, применяемыми в аэрокосмической отрасли;
- ✓ Изучение структуры и фазового состава в условиях переменных температур и давлений *in situ* и материалов, в условиях их реальной эксплуатации (*operando*);
- ✓ Изучение структуры веществ и материалов под воздействием излучения (UV-VIS) для разработки фотоактивных материалов и устройств (нелинейных оптических материалов, фотосенсоров и т.п.);
- ✓ прецизионное изучение распределения электронной плотности в кристаллах, в том числе, в условиях высоких давлений – ключ к пониманию природы хим. связей и межмолекулярных взаимодействий в кристаллах

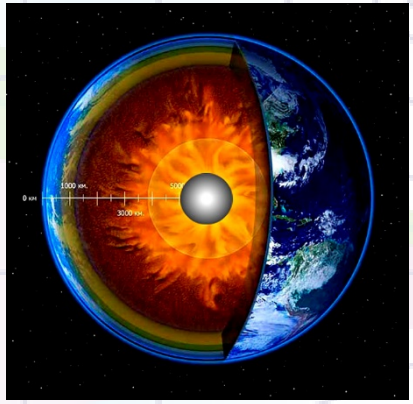


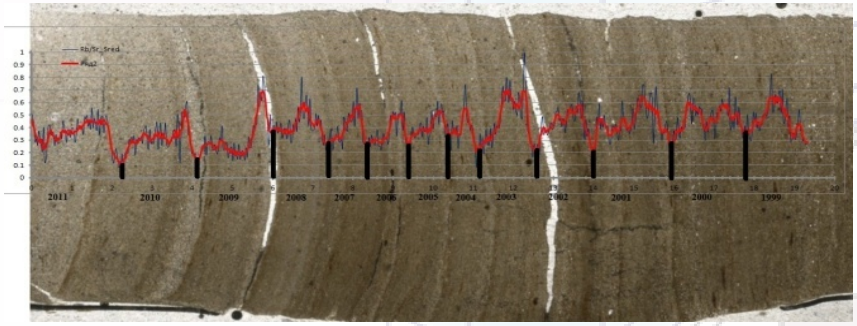
Экспериментальные станции первой очереди

1. Станция «МИКРОФОКУС»

Блок задач 3. Исследование геоматериалов (ИГМ СО РАН, Институт географии РАН)







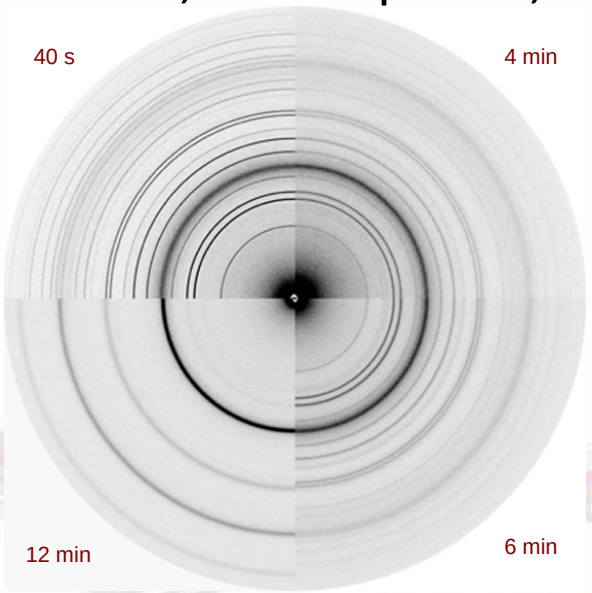
- ✓ Выявление «невидимых» полезных компонентов в рудах, находящихся в высокодисперсных или химически связанных формах;
- ✓ многоэлементное профилирование и картирование высокого разрешения осадочных пород с целью мониторинга различных событий (падение небесных тел, испытание ядерного оружия, климатические изменения и др.);
- ✓ Исследование процессов фазообразования в условиях высоких давлений и температур *in situ* – ключ к пониманию геологических процессов (движения литосферных плит, землетрясений, извержения вулканов, формирование месторождений полезных ископаемых –алмазов, платиноидов и т. п.), а также поиску оптимальных условия для синтеза искусственных минералов;
- ✓ Исследование фазового состава и прецизионного определения параметров элементарной ячейки и координат атомов включений в природных минералах для установления генезиса минералов и восстановлений условий их образовался.

Экспериментальные станции первой очереди

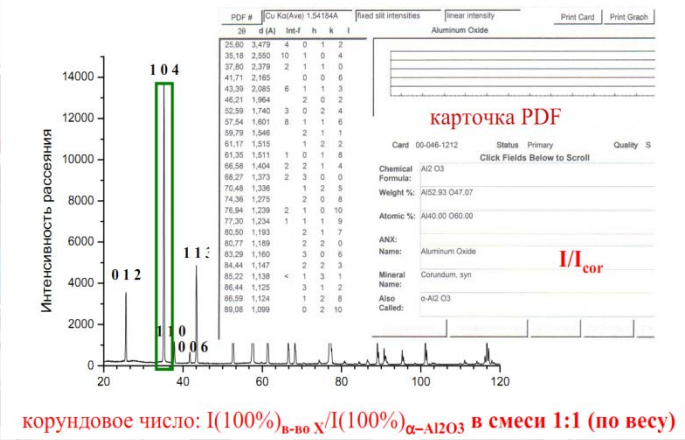
2. Станция «Структурная диагностика»

Исследование структуры и структурных превращений функциональных материалов методами рентгеновской дифракции (ИХТТМ СО РАН, ИНХ СО РАН, ИК СО РАН, ИСМ РАН, АлТГУ, МГУ, ТГТУ , РФЯЦ ВНИИТФ, ИХТТ УрО АН, ФНПЦ АЛТАЙ, ИК РАН).

- ✓ **Высокое угловое и пространственное разрешение;**
- ✓ **Исследование в режимах *In Situ* и *Operando* с временным разрешением;**
- ✓ **Рентгеноструктурный анализ сильно поглощающих, а также малых объектов (<10 мкм);**
- ✓ **Исследование наноразмерных, наноструктурированных и аморфных образцов, биополимеров, стекол и т. п. на супрамолекулярном уровне.**



Порошковая дифрактограмма корунда (α–Al_2O_3)



корундовое число: $I(100\%)_{в\text{-}во\ X}/I(100\%)_{\alpha\text{-}Al2O3}$ в смеси 1:1 (по весу)

Экспериментальные станции первой очереди

2. Станция «Структурная диагностика»

1. Материалы для водородной энергетики и твердотельных топливных элементов (ИК СО РАН, ИХТТМ СО РАН, МГУ, ТГТУ, НГУ);
2. Катализаторы для энергоэффективного катализа, нефтепереработки и экологических приложений (ИК СО РАН, ИНХ СО РАН, НГУ);
3. Керамические и высокоэнергетические материалы (ИХТТМ СО РАН, НЭВЗ, ФНПЦ АЛТАЙ, ИПХЭТ СО РАН, РФЯЦ ВНИИТФ, ИХТТ УрО РАН, НГУ);
4. Исследование структуры тонких плёнок с учетом протекающих в них процессов (ИСМ РАН, АлТГУ, ИХТТМ СО РАН, ИК РАН, ФИЦ КНЦ СО РАН);
5. Системы с частично разупорядоченной иерархической структурой: полимерные и углеродные материалы (ИХТТМ СО РАН, ИК СО РАН, ИНХ СО РАН, компания OCSIAL, Новосибирский технопарк – ГК «Роснано»)
6. Фармацевтические материалы (ИК СО РАН, ИНХ СО РАН, НИОХ СО РАН, ИХКиГ СО РАН, НГУ)
7. Монокристаллы (ИНХ СО РАН, ИК СО РАН, НИОХ СО РАН, ИГМ СО РАН, МТЦ СО РАН, НГУ)
8. Структурная диагностика ультрадисперсных и наноструктурированных систем (ИК СО РАН, ИХТТМ СО РАН, ИППУ СО РАН, ИТПМ СО РАН, КНЦ СО РАН, ФИЦ КНЦ СО РАН, НГУ, НГТУ)
9. Структурная диагностика с использование метода малоуглового рассеяния (ИК СО РАН, ИХТТМ СО РАН, ИППУ СО РАН, ИТПМ СО РАН, КНЦ СО РАН, НГУ, ФИЦ КНЦ СО РАН, НГТУ)

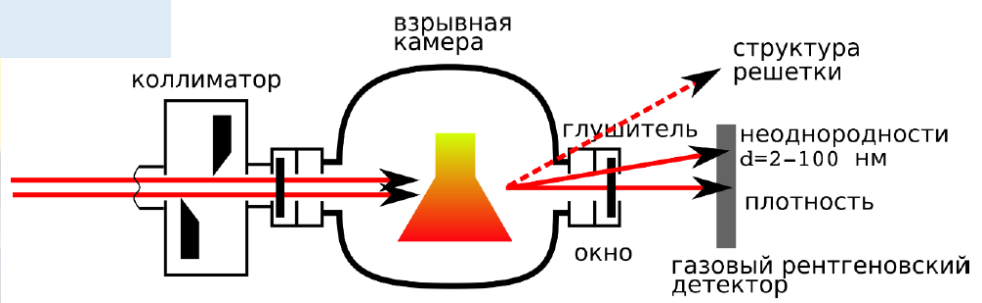
Экспериментальные станции первой очереди

3. Станция исследования быстропротекающих процессов

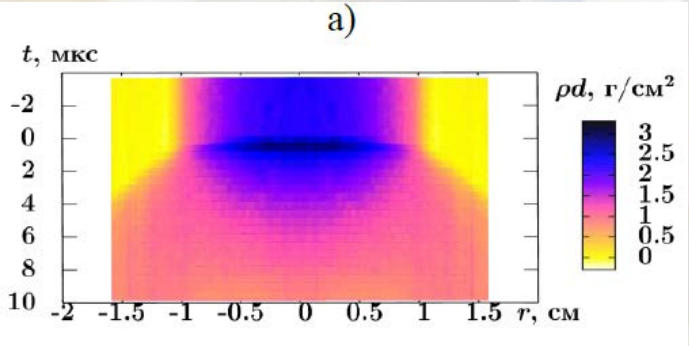
- Секции динамических процессов (ИХТТМ СО РАН, ИГиЛ СО РАН, РФЯЦ ВНИИЭФ, РФЯЦ ВНИИТФ, ИПХФ РАН, ИПХЭТ СО РАН)

- дифракция с высоким временным разрешением;
- скоростная рентгенография и томография

исследование поведения веществ
с пикосекундным разрешением



структура ударного и детонационного фронта, фазовых переходов при сжатии, протекание химических реакций, динамического формирования наноструктур; скоростного деформирования и разрушения материалов и элементов конструкций; поведения вещества и плотной плазмы в условиях, максимально приближенных к инерционному термоядерному синтезу.

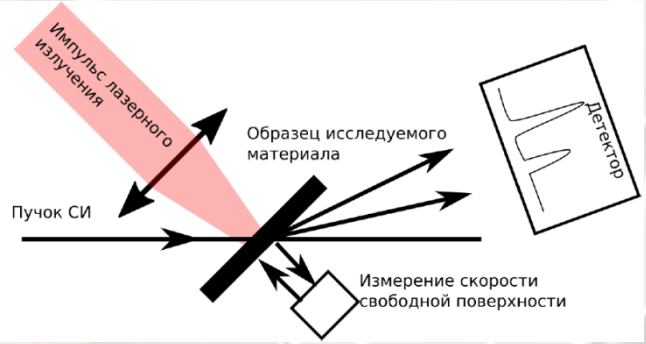


Экспериментальные станции первой очереди

3. Станция исследования быстропротекающих процессов

- Секции «Плазма» (ИЯФ СО РАН, ФТИ им. А.Ф. Иоффе, НИЦ «Курчатовский институт», Проектный центр ИТЭР)

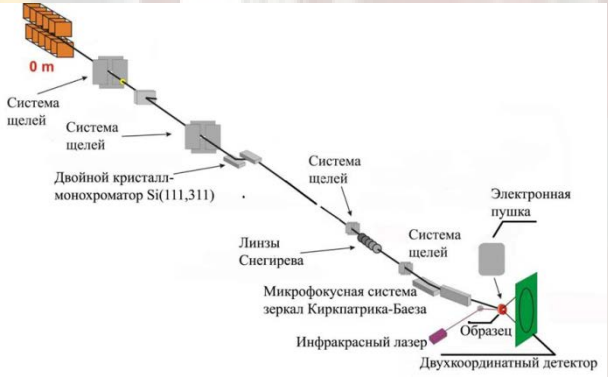
экспериментальные данные о поведении вещества в условиях высоких давлений и температур необходимы для расчетов и создания термоядерных установок, для построения уравнений состояния вещества в сверхплотных состояниях и прогнозирования поведения различных веществ в условиях воздействия плазмы



быстрая дифрактометрия монокристаллов на просвет и поликристаллических образцов на отражение

- Секции экстремально высоких температур (ИХТТМ СО РАН, ИТ СО РАН, ОИВТ РАН)

изучение высокотемпературного синтеза, процессов отжига, рекристаллизации, текстурирования при высоких температурах материалов для аэрокосмической области, нужд ядерной энергетики



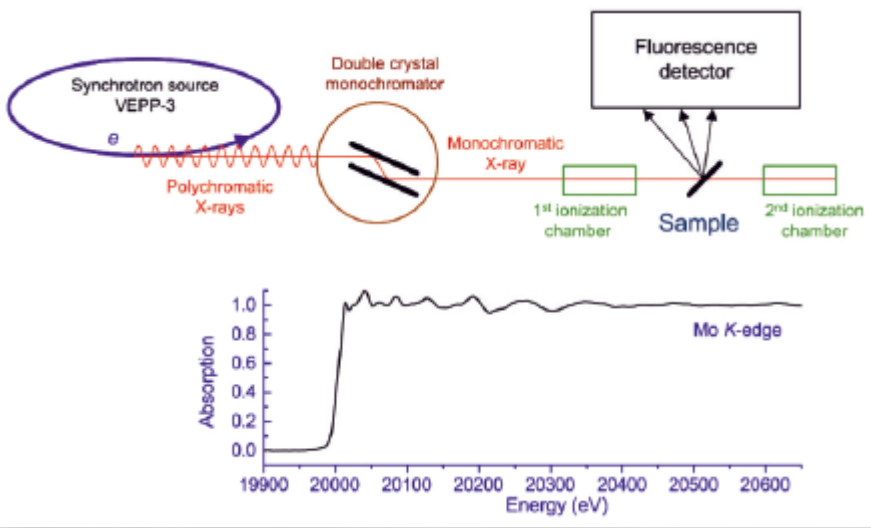
- ✓ специализированное оборудование для нагрева образцов
- ✓ режим исследования микроколичеств образца

Экспериментальные станции первой очереди

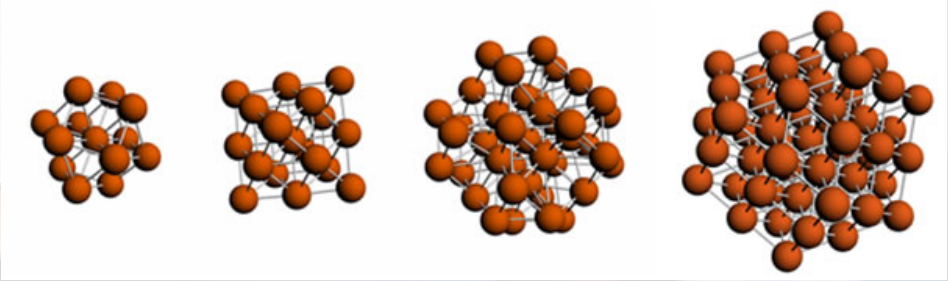
4. Станция «XAFS-спектроскопия и магнитный дихроизм»

спектроскопия рентгеновского поглощения

- околопороговая тонкая структура рентгеновских спектров поглощения (X-ray Absorption Near-Edge Structure, **XANES**): информация об электронной структуре, плотности вакантных состояний и геометрии связей поглощающего атома
- протяженная тонкая структура рентгеновских спектров поглощения (Extended X-ray Absorption Fine Structure, **EXAFS**): информация о локальном окружении (0,6-0,8 нм) поглощающего атома



Исследование электронной и локальной структуры для решения задач в области физики твердого тела, материаловедения, геологии, коллоидной химии, гетерогенного и гомогенного катализ, защиты окружающей среды (ИК СО РАН, ИЯФ СО РАН, ИХТТМ СО РАН, НГУ, ИНХ СО РАН, ИФП СО РАН, и др.)

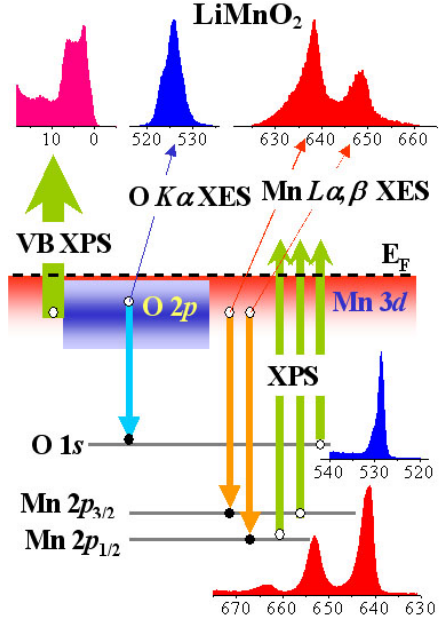


- ✓ не требует наличия дальнего порядка;
- ✓ элемент-селективный метод;
- ✓ может быть применен для исследования вещества в любом агрегатном состоянии;
- ✓ удобен для исследования наночастиц, коллоидных систем, слабоупорядоченных и аморфных материалов, жидкостей и газов;
- ✓ высокая чувствительность – проведение экспериментов при малых концентрациях исследуемого элемента (до 10^{-5})

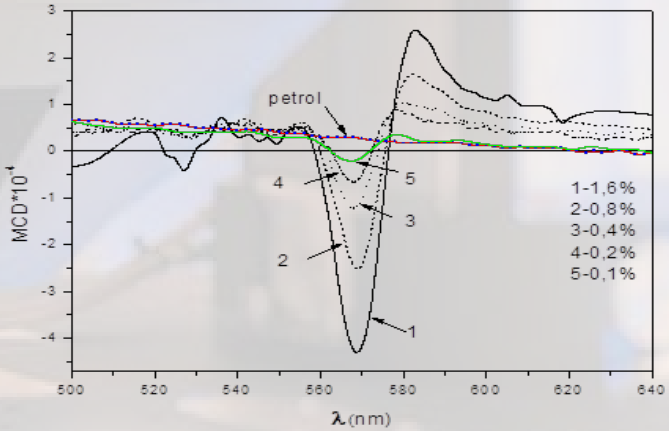
Экспериментальные станции первой очереди

4. Станция «XAFS-спектроскопия и магнитный дихроизм»

Рентгеновская эмиссионная спектроскопия - анализ энергий рассеянных фотонов в зависимости от энергии падающего рентгеновского излучения. Увеличение спектрального разрешения (до 100 мэВ) – ключ к информации о химическом и валентном состоянии атома, о пространственной симметрии системы.



Спектроскопия магнитного дихроизма – исследование фундаментальных магнитных свойства веществ, включая спиновые и орбитальные магнитные моменты атомов, магнитный гистерезис и магнитную анизотропию, обеспечивает дополнительную информацию об электронной структуре системы

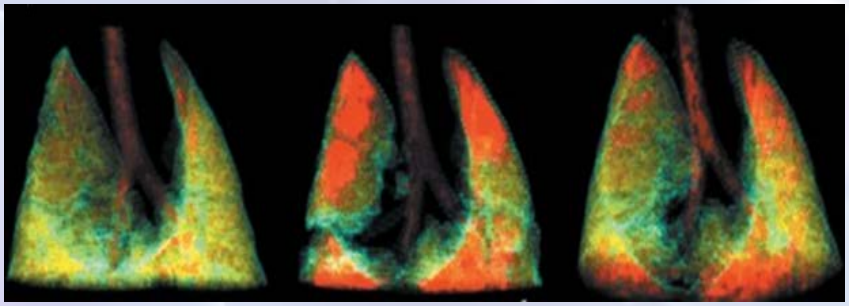


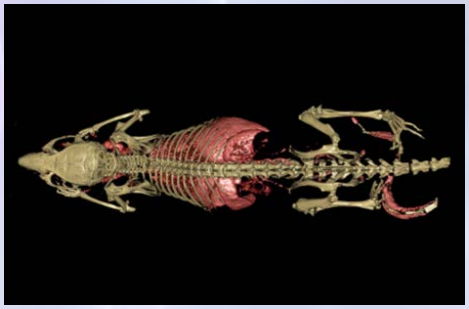
Экспериментальные станции первой очереди

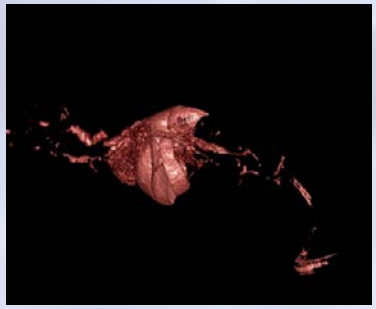
5. Станция «Диагностика в высокоэнергетическом рентгеновском диапазоне»

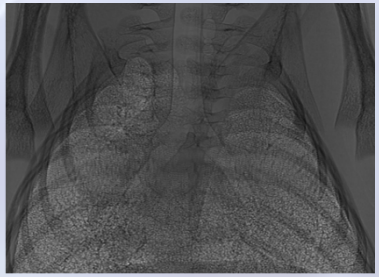
Получение высококонтрастных изображений высокого разрешения (в реальном времени) в жестком рентгеновском диапазоне для исследований, проводимых в области медицины, материаловедения, археологии и палеонтологии. Исследования, требующие высокоэнергетического излучения в диапазоне от 20 до 120 кэВ.

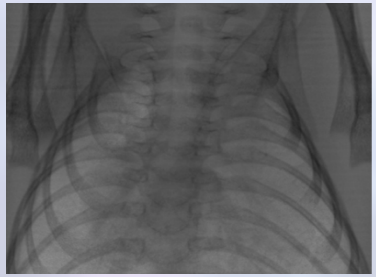
1. **Уникальные археологические и палеонтологические находки (ИАЭТ СО РАН, ИНГГ СО РАН)** – уникальный контраст отличающиеся по плотности на доли процентов;
2. **Геологические образцы (ИГМ СО РАН, ИНГГ СО РАН, ИНХ СО РАН, НГУ)** – трехмерная структура (определении минерального (фазового) состава и текстурно-структурных особенностей), исследования при высоких давлениях и температуре
3. **Новых композитные материалы (ИТПМ СО РАН, ИХТТМ СО РАН, РФЯЦ ВНИИТФ, РФЯЦ ВНИИЭФ, ИГиЛ СО РАН, ИХКиГ СО РАН)** – исследование неоднородности композитных образцов, изучение внутренних напряжений, механизмов разрушения;
4. **Биомедицинские и ветеринарные технологии (ИЦиГ СО РАН, ФИЦ ФТМ СО РАН, НИИПК, НИИТО)** – кроме стандартных подходов использования рентгеноконтрастных веществ, реализация метода «фазово-контрастной радиографии» – инструмент визуализации слабоконтрастных деталей в организме (опухолей на ранней стадии, патологий и др.).







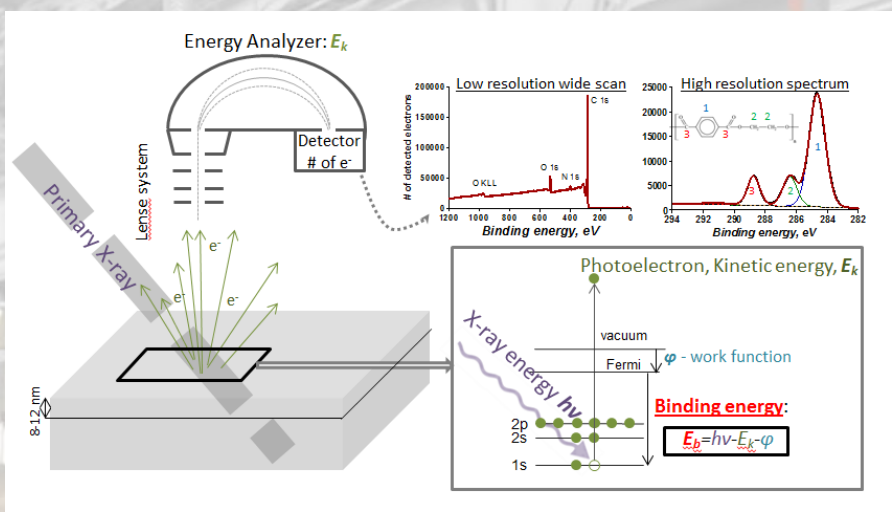




Экспериментальные станции первой очереди

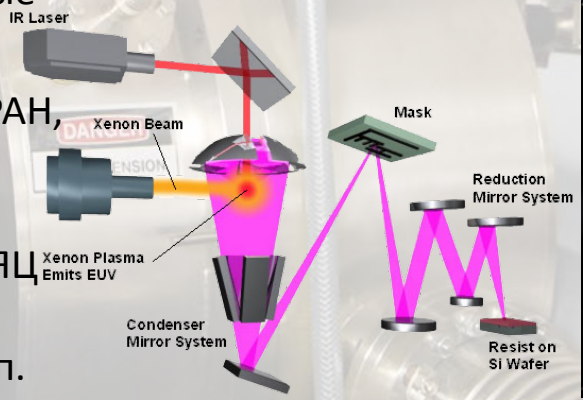
6. Станция «Электронная структура»

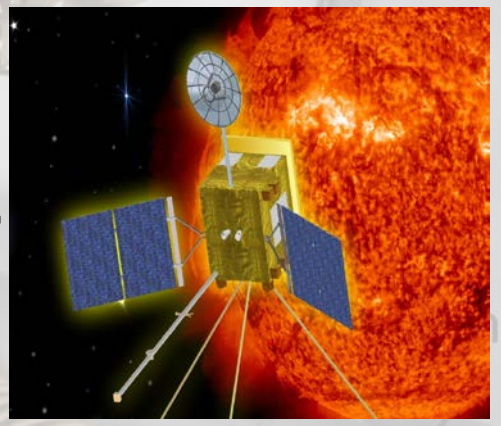
- химическое состояние атомов всех элементов, входящих в состав материала;
- конфигурация электронных орбиталей, участвующих в химической связи;
- тип лигандов;
- валентная зона, 2D/3D-картирование;
- локальная атомная структура



Спектрометр РФЭС с анализатором PHOIBOS 150 HV позволит получать спектры в угловом диапазоне 60˚ (±30˚) с разрешением 0.1° в энергетическом диапазоне до 7 кэВ, с энергетическим разрешением порядка 7 и 15 мэВ

Блок задач **1. Передовые функциональные материалы** (ИНХ СО РАН, ИК СО РАН, ИФП СО РАН, ФИЦ КНЦ СО РАН) – многослойные и пористые системы, материалы для возобновляемой энергетики и молекулярной электроники, катализаторы, иммобилизованные биологически активные вещества





Блок задач **2. Метрология и рефлектометрии**я (ИЯФ СО РАН, ФИЦ КНЦ СО РАН, ИПГ им. Е.К.Федорова, ФИ РАН им. П.Н.Лебедева, ИФМ РАН, ФТИ им. А.Ф. Иоффе, ГОИ им. С.И.Вавилова, ВНИИА им. Н.Л.Духова, РФЯЦ ВНИИЭФ, РФЯЦ ВНИИТФ) – калибровка детекторов, аттестация оптики и приборов, характеризация оптических поверхностей и т. п.

Блок задач **3. Выполнение фундаментальных исследований при давлении близком к условиям окружающей среды** (ИК СО РАН, ИНХ СО РАН, ИФП СО РАН, ИХТТМ СО РАН, ИГМ СО РАН, ИХХТ СО РАН, ИХТТМС СО РАН) – катализаторы, адсорбенты, энергопреобразующие устройств; минеральное сырье, в том числе на разных стадиях переработки

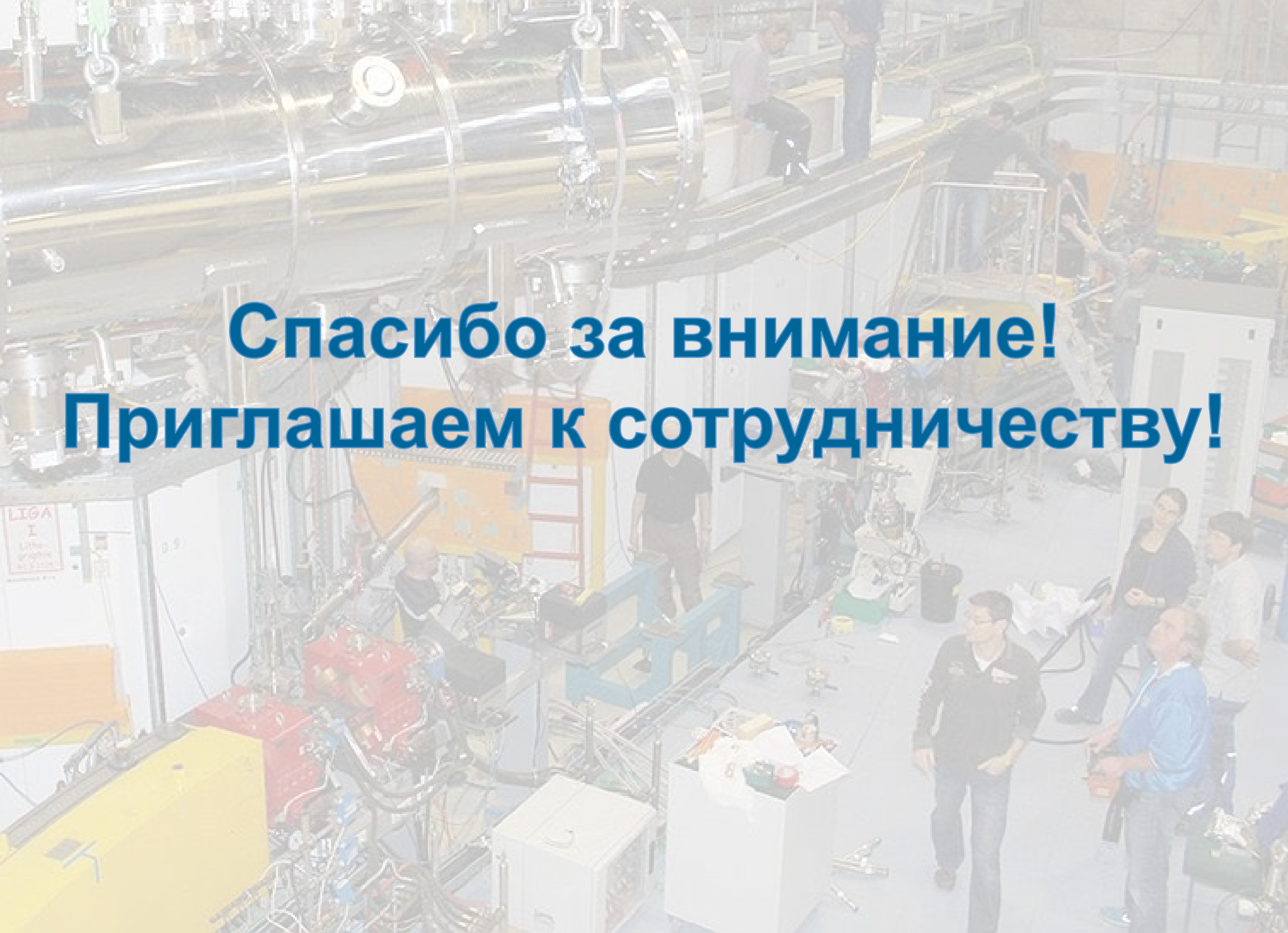
Towards Exp Hutch

СКИФ – инструмент для создания ключевых технологий

- ✓ **Технологии новых и возобновляемых источников энергии, включая водородную энергетику.**
- ✓ **Технологии создания новых лекарственных препаратов (необходимый этап работ – рентгеноструктурный анализ взаимодействия лекарственных комплексов с белками).**
- ✓ **Технологии мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды, предотвращения и ликвидации её загрязнения.**
- ✓ **Технологии создания энергосберегающих систем транспортировки, распределения и использования энергии.**
- ✓ **Технологии создания и использования новых функциональных и конструкционных материалов и покрытий, в том числе наноматериалов и композитов.**
- ✓ **Технологии аддитивного производства и методов, обеспечивающих переход на следующий технологический уклад.**
- ✓ **Технологии поиска, разведки, разработки месторождений полезных ископаемых и их добычи.**
- ✓ **Военные и промышленные технологии для создания перспективных видов вооружения, военной и специальной техники.**
- ✓ **Генетические, робототехнические, информационные, когнитивные и др. технологии.**

БЛАГОДАРНОСТЬ:

О.Н. Мартьянову,
И.Н. Чуркину,
всему коллективу
“Рабочей группы” СКИФ



Спасибо за внимание!
Приглашаем к сотрудничеству!