



Концепция источника синхротронного излучения  
для Новосибирского научного центра.  
Выбор основных параметров и стратегия  
продвижения.

*Золотарев К.В.*

*ИЯФ СО РАН*



Заседание  
Объединенного  
ученого совета СО РАН  
по физическим наукам  
*ИЛФ СО РАН*  
*20 декабря 2017 г.*

# Популярность методик с использованием СИ в мире

*Уникальные свойства СИ привели к созданию множества исследовательских методик во всех научных направлениях. Популярность и востребованность таких исследований является причиной создания большого числа исследовательских центров на базе специализированных источников СИ.*

*Более 50 источников СИ в мире действующих или уже строящихся*

*Основные страны, владеющие центрами СИ:*

*Япония- более 15 источников СИ*

*США- около 10*

*Германия – 6*

*Центры СИ имеют такие страны как: Австралия, Бразилия, Канада, Китай,*

*Тайвань, Индия, Италия, Англия, Сингапур, Швеция, Швейцария, Таиланд*

*и Иордания*

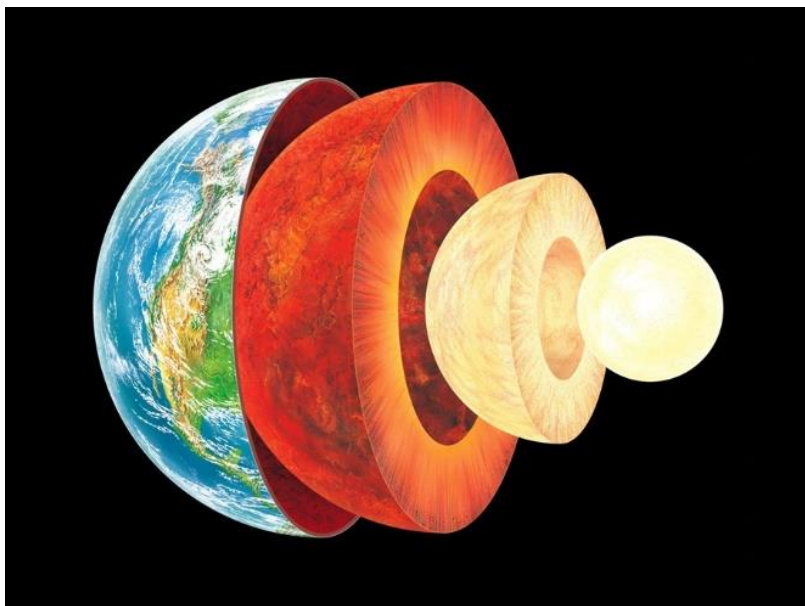
*Общее количество пользователей превышает 50000 человек*



<http://www.lightsources.org/>

# Синхротронные исследования в различных областях наук

## Науки о Земле:



### недра Земли:

сейсмичность, магнитное поле, вулканизм, алмазообразование

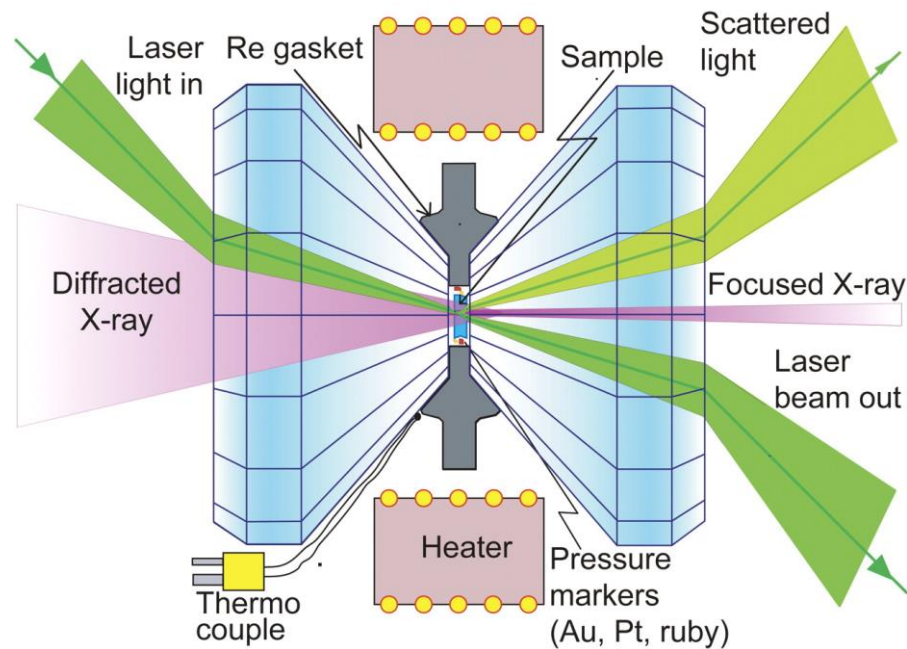
### НОВЫЕ СВОЙСТВА:

высокотемпературная (200 K)  
сверхпроводимость в  $\text{H}_2\text{S}$  при 150 ГПа (Drozdov *et al.*, *Nature* 2016)

## Вещество в экстремальном состоянии

### Техническая реализация: рентгеновская дифракция

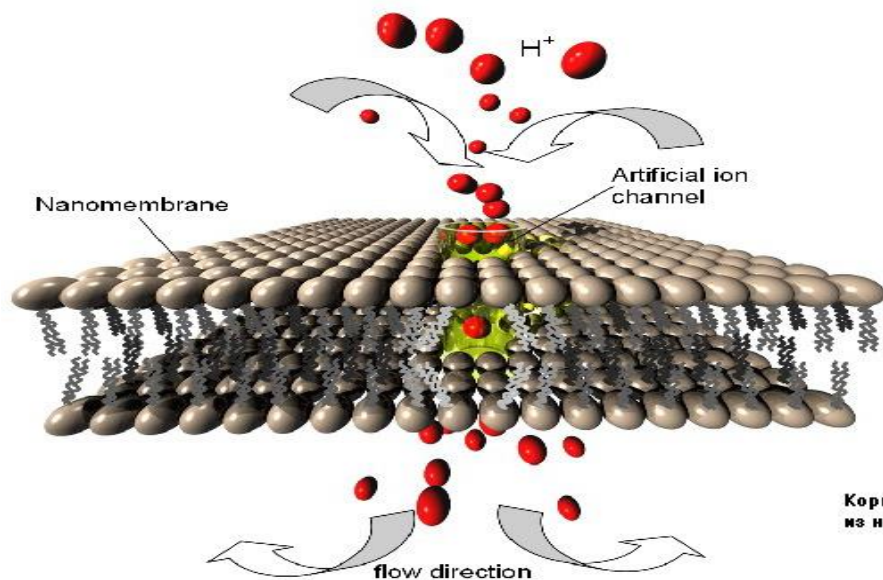
- максимальный диапазон давлений (до 300 ГПа, не более  $0,1 \text{ мм}^3$ );
- большой объём (до  $1 \text{ см}^3$ , до 30 ГПа)





# Синхротронные исследования в различных областях наук:

## Химические науки:

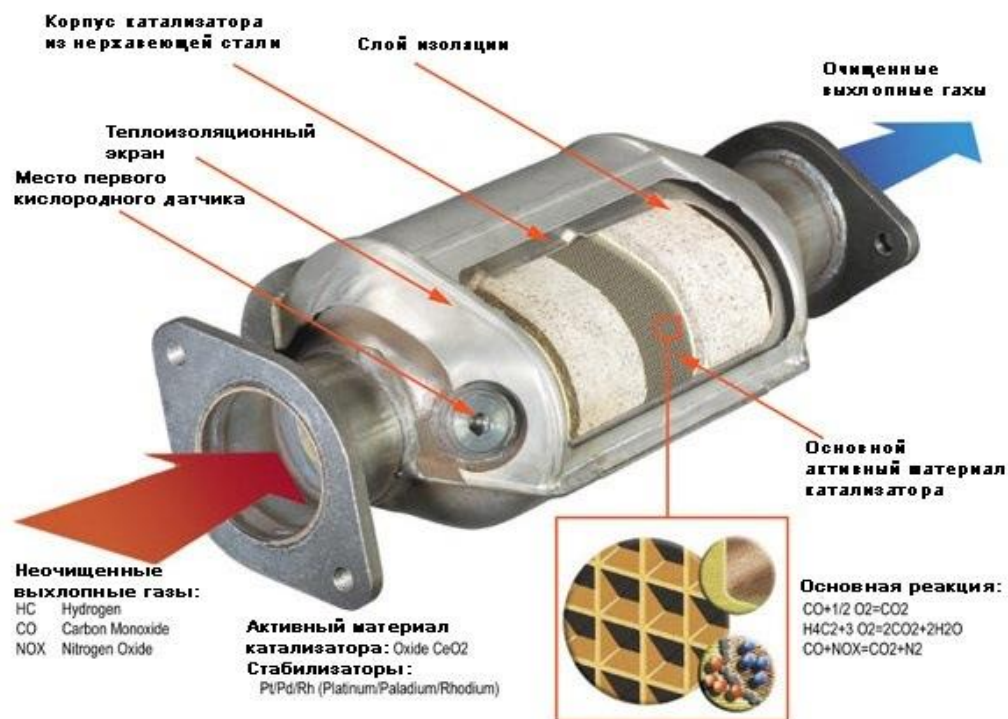


- каталитическая активность;
- мембранный транспорт (ионные насосы и ионные каналы)...
- →
- Кристаллические и аморфные тела, жидкости и ультраразбавленные фракции...

## Техническая реализация:

рентгеновская дифракция + XAFS-спектроскопия

- структура веществ (дальняя и локальная, кластеры, дефекты);
- протекание химических реакций in situ, in operando;

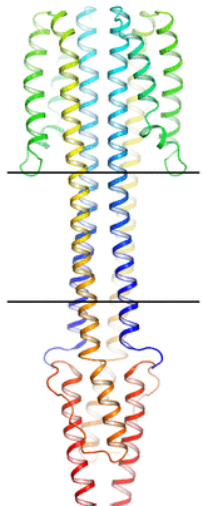


# Синхротронные исследования в различных областях наук:

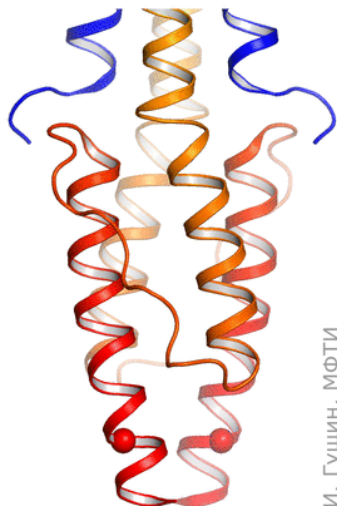
## Биологические науки:

Механизм передачи сигнала внутрь бактерии белком-сенсором NarX

После присоединения нитрата сдвигаются мембранные спирали:



Внутриклеточная часть меняется после сдвига спиралей-поршней:



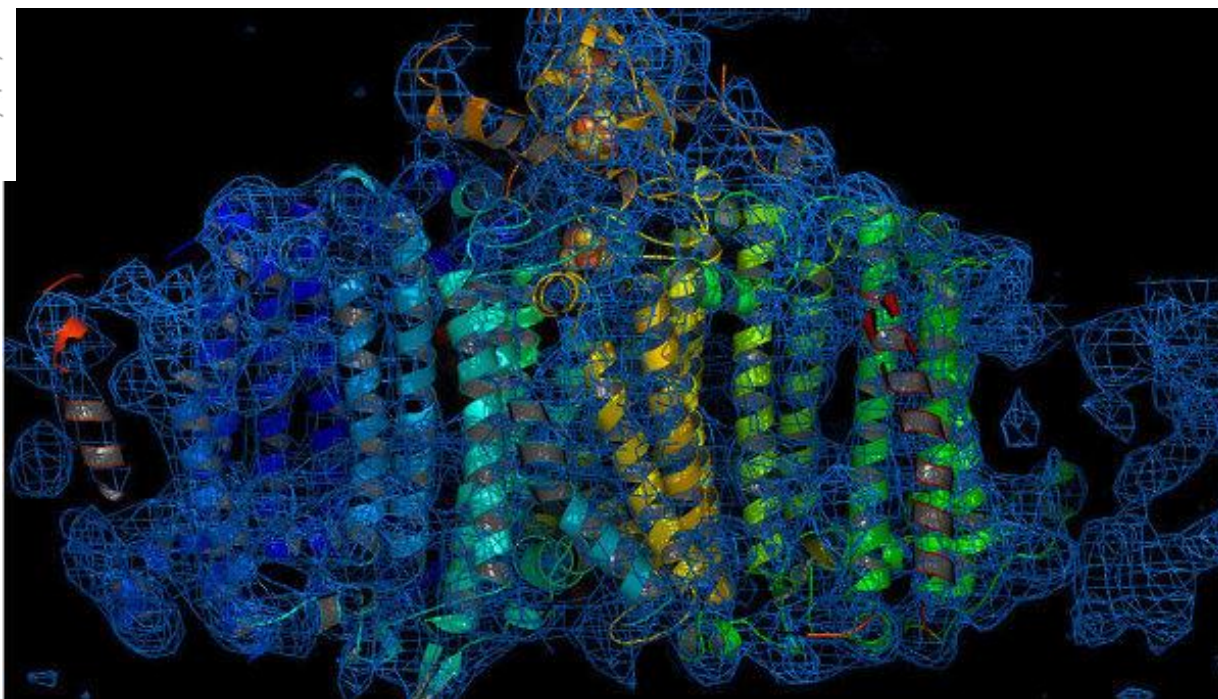
И. Гушин, МФТИ

**Белковая кристаллография** – восстановление трёхмерной структуры сложных белковых молекул и вирусов методами рентгеновской дифракции

**Техническая реализация:**  
рентгеновская дифракция

## Молекулярная биология

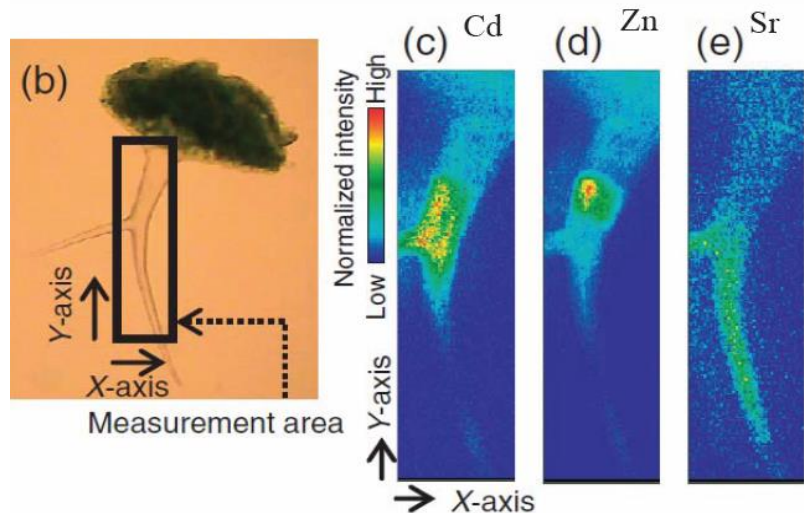
- исследование строения белков;
- исследование процессов химических взаимодействий и превращений на молекулярном уровне в органических тканях и клетках;
- Исследование биологических процессов *in situ*...





# Синхротронные исследования в различных областях наук:

## Биологические науки:



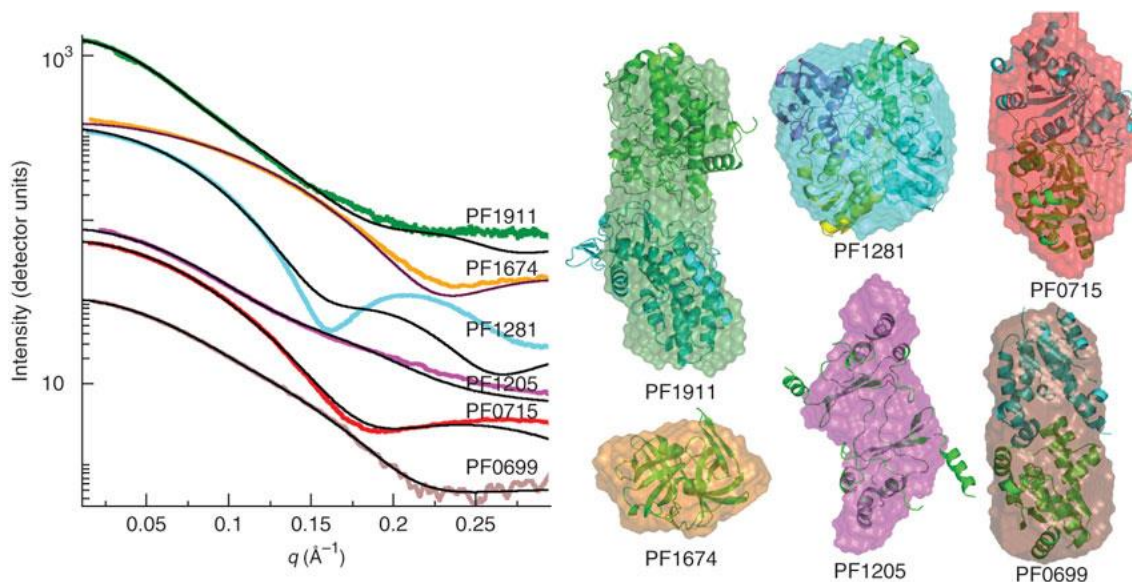
A.Hokura et al. Chem. Lett. 35('06)1246 SPring-8 B137XU

## Техническая реализация: микро-РФА + микро-XAFS + микро-XRD

- исследование состава биологических тканей и организмов;
- исследование распределения микроэлементов внутри тканей и организмов;
- исследование динамики микроэлементов *in vivo* и *in vitro*...

## Техническая реализация: методы рентгеновской дифракции

- исследование формы;
- восстановление структуры малых биологических молекул.



# Синхротронные исследования в различных областях наук:

## Медицинские науки:



## Лекарственные препараты



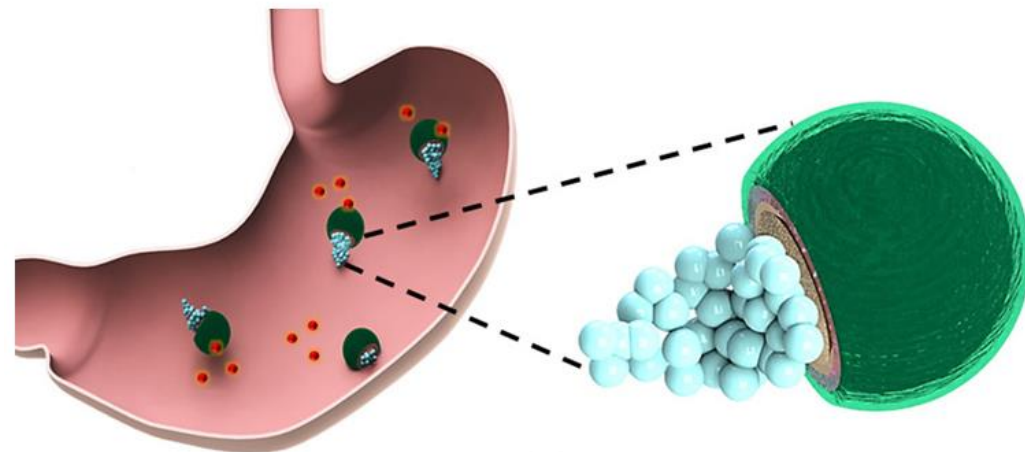
## Медицинские технологии

- избирательное воздействие;
- целевая доставка;
- микропучковая терапия...



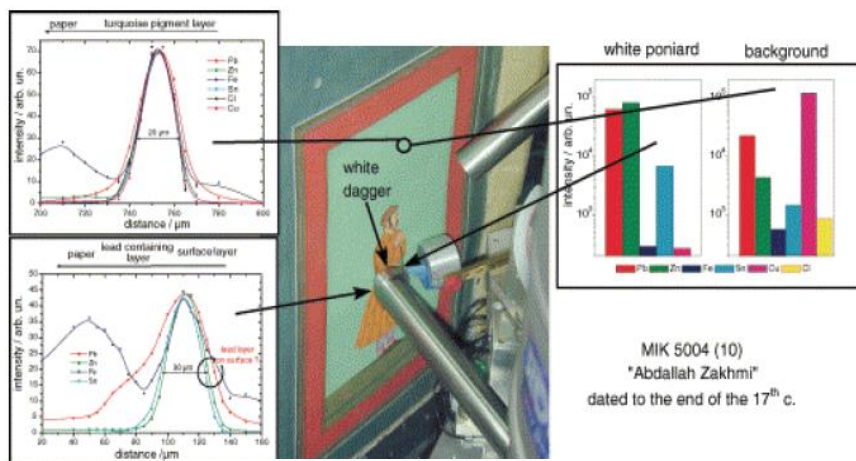
## Техническая реализация: рентгеновская дифракция + РФА + XAFS-спектроскопия

- *исследование и контроль состава и структуры лекарственных препаратов;*
- *модификация свойств;*
- *создание новых препаратов;*
- *исследование и уточнение механизмов реакций в организме ...*



# Синхротронные исследования в различных областях наук:

## Гуманитарные науки:

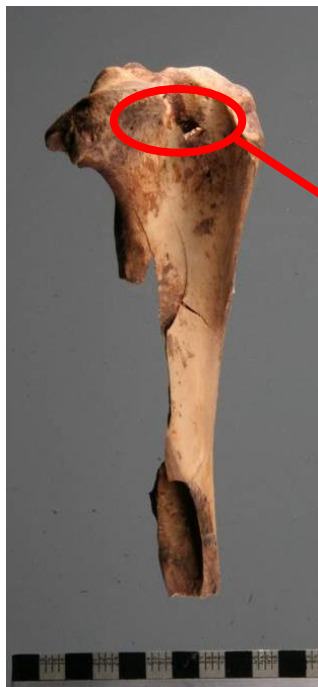


MIK 5004 (10)  
"Abdallah Zakhmi"  
dated to the end of the 17<sup>th</sup> c.

V. Kanngiesser et al. Nucl. Instr. Methods B211(03)259

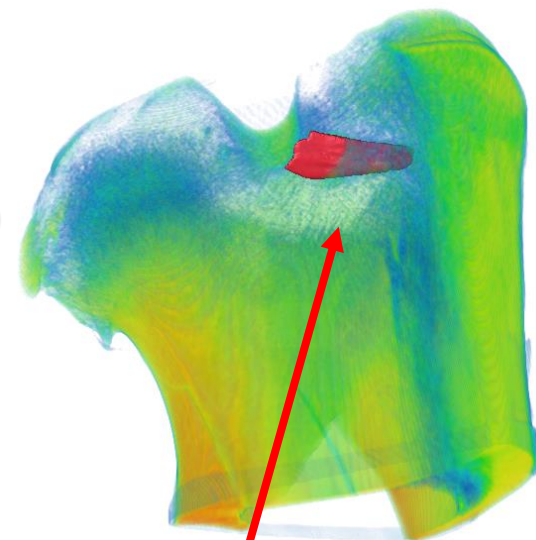
## Неразрушающие исследования внутренней микроструктуры:

- скрытых слоёв;
- сильно повреждённых объектов



Техническая реализация:  
рентгеновская томография +  
РФА + конфокальная микроскопия

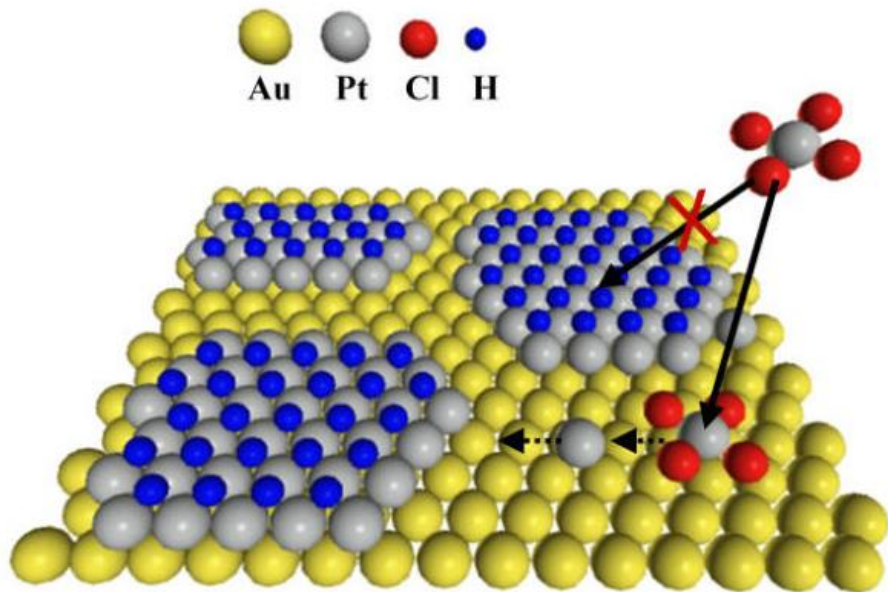
## Объекты культурного наследия





# Синхротронные исследования в различных областях наук:

## Материаловедение:

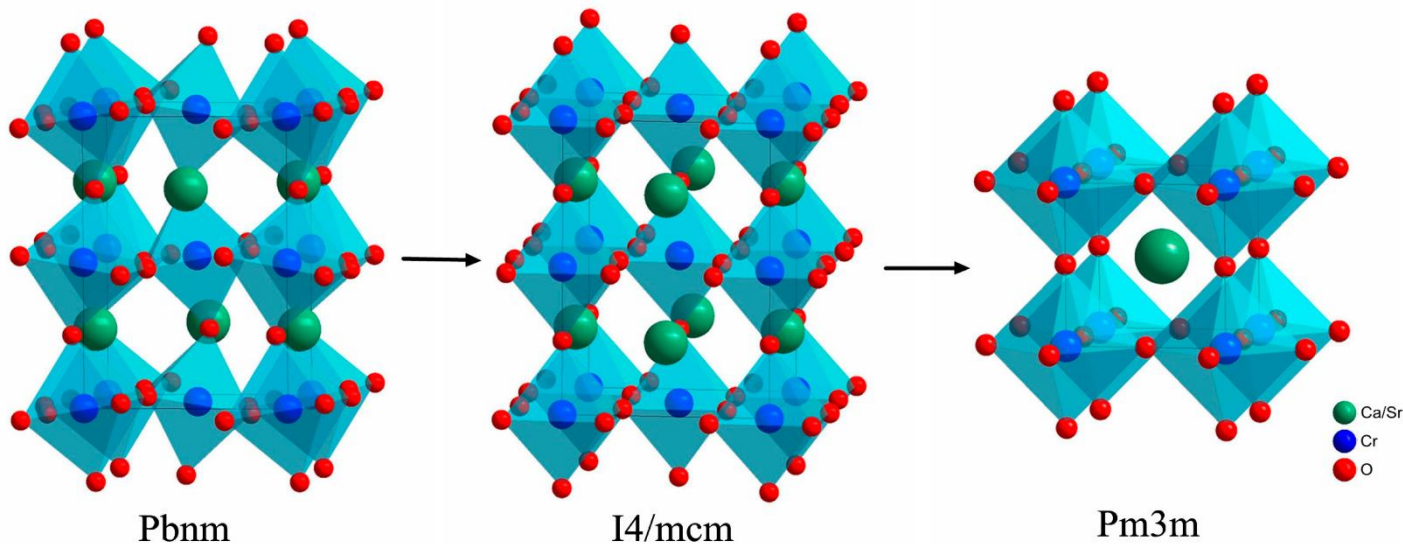


## Техническая реализация:

рентгеновская дифракция (микро) +  
XAFS-спектроскопия (микро)

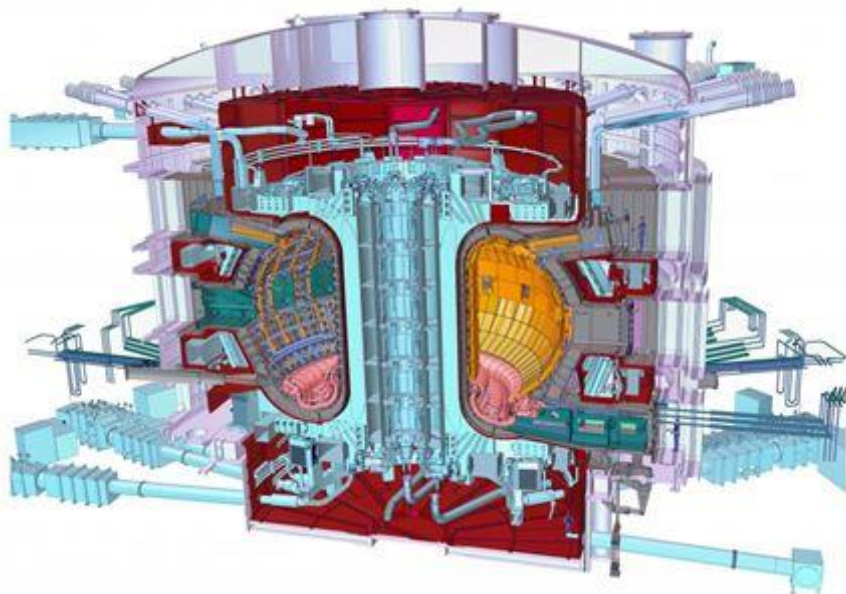
- исследование дальней, локальной и электронной структуры веществ;
- исследование магнитной структуры веществ →
- модификация свойств;
- создание новых материалов: механокомпозиты, наночастицы, кластеры ...

- Исследование фазовых превращений при внешнем воздействии:  
**новые функциональные и конструкционные материалы**



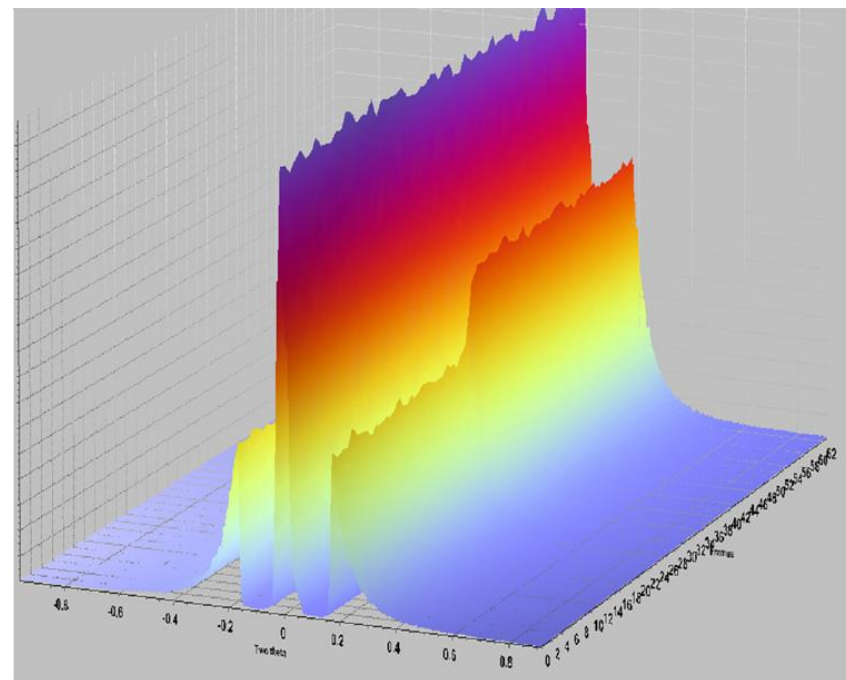
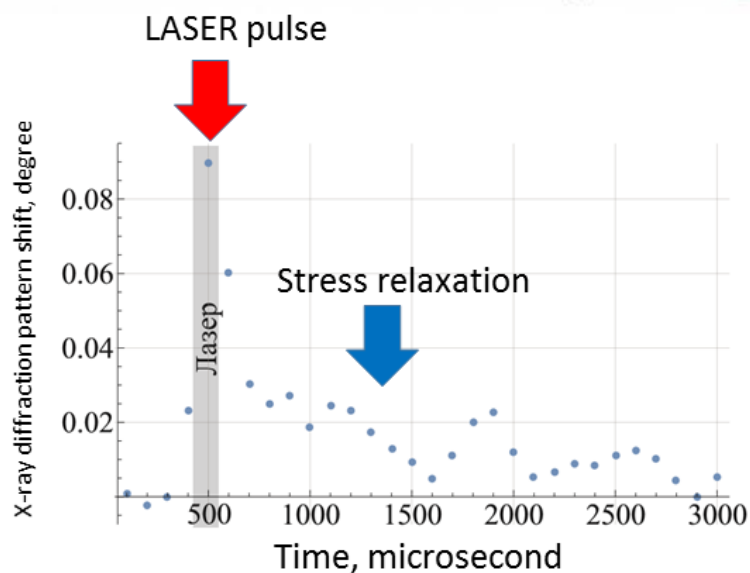
# Синхротронные исследования в различных областях наук:

## Материаловедение:



Модельный эксперимент по исследованию теплового воздействия при помощи лазера

Исследование процессов превращения веществ с временным разрешением («дифракционное кино»)

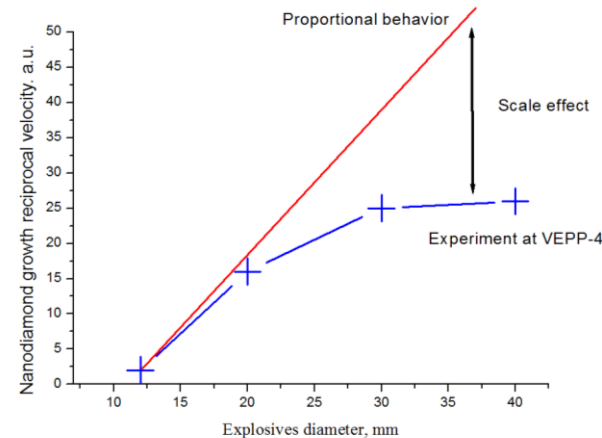
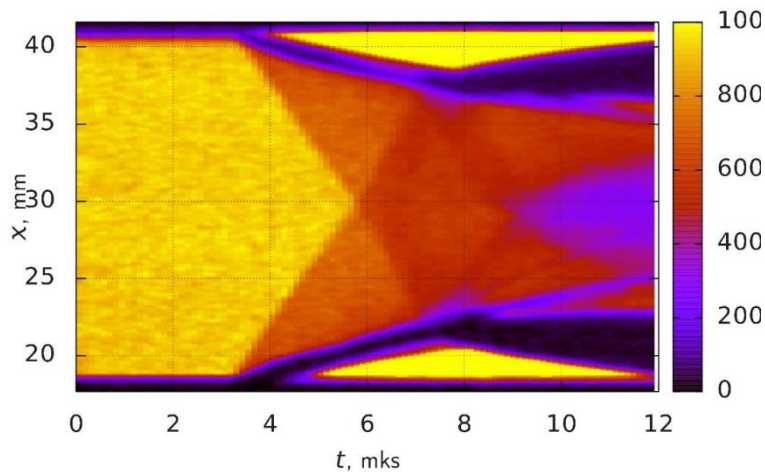
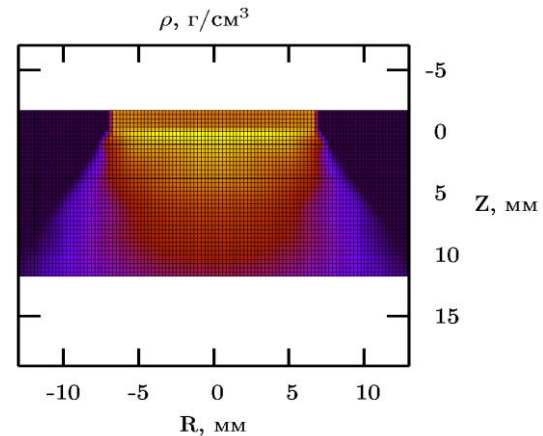
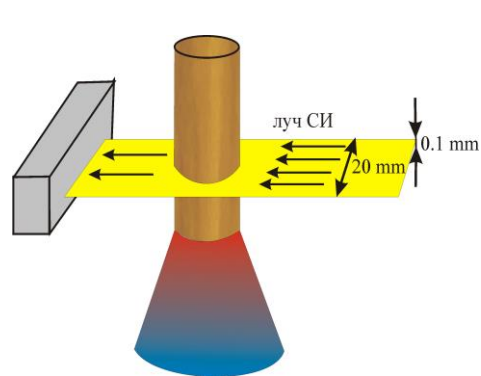


# Синхротронные исследования в различных областях наук:

## Исследования энергетических и конструкционных материалов



Исследование процессов превращения веществ в процессах детонации и ударно-волнового нагружения с субнаносекундным разрешением



Динамика роста размеров детонационных наноалмазов



# Источники СИ в мире и в России



- Количество источников и центров использования СИ недостаточно для эффективного применения современных исследовательских методик и технологий
- **Имеющиеся в России источники СИ не соответствуют современным стандартам и не удовлетворяют пользовательских потребностей**
- Необходимо создание нескольких разноплановых центров на базе современных источников СИ

# Источник СИ в Новосибирске



Потенциальные и реальные пользователи ИСИ

- Удобное географическое положение
  - Уникальное научное окружение, большой междисциплинарный научный центр
  - Широкопрофильное университетское окружение
  - Развитая пользовательское сообщество в ЦКП «Сибирский центр синхротронного и терагерцового излучения»
- **Институты и научные организации Сибирского региона**  
ГИН СО РАН, ИВЭП СО РАН, ИГАБМ СО РАН, ИГМ СО РАН, ИГХ СО РАН, ИГД СО РАН, ИЗК СО РАН, ИМКЭС СО РАН, ИНГГ СО РАН, ИПРЭК СО РАН, ИПНГ СО РАН, ИУ ФИЦ УУХ СО РАН, ЛИН СО РАН, ФИЦ УУХ СО РАН, НИИ КПССЗ, НИИЭКМ, СО медицинских наук, Томский НИМЦ, ИАЭТ СО РАН, МТЦ СО РАН, ИК СО РАН, ИНХ СО РАН, ИППУ СО РАН, ИУХМ ФИЦ УУХ СО РАН, ИХН СО РАН, ИХТТМ СО РАН, ИХГ СО РАН, НИОХ СО РАН, ИАиЭ СО РАН, ИОА СО РАН, ИСЭ СО РАН, ИФ СО РАН, ИФП СО РАН, ИФМ СО РАН, ИЯФ СО РАН, ИЛ СО РАН, ИПА СО РАН, ИСиЭЖ СО РАН, ИХБФМ СО РАН, СИФИБР СО РАН, ФИЦ ИЦИГ СО РАН, ЦСБС СО РАН, ИГИЛ СО РАН, ИТПМ СО РАН, ИТ СО РАН, ИФПМ СО РАН, ФИЦ КНЦ СО РАН
  - **Университеты Сибирского региона**  
НГУ, НГТУ, ТГУ, ТПУ, АГУ, КФУ и др.



# ОПЫТ ИЯФ

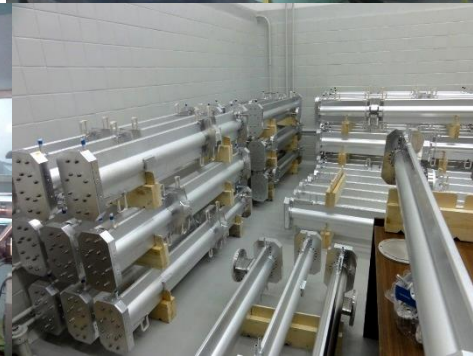
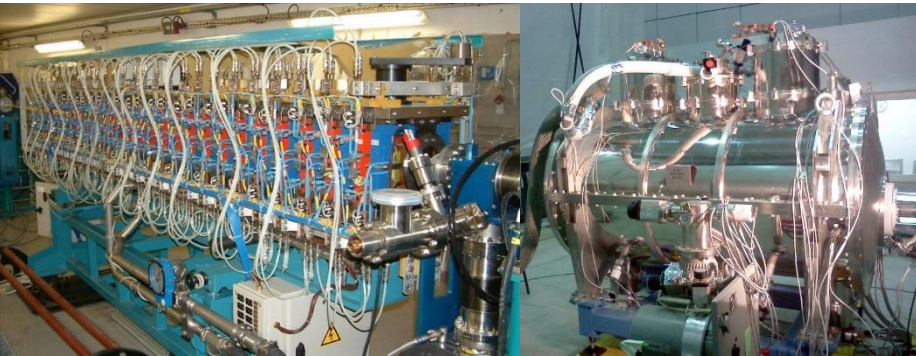
## Производство ускорительных элементов и систем

ИЯФ СО РАН

Технологии производства, большой опыт создания укорительных элементов:

- Элементы магнитной системы (дипольные магниты, квадрупольные и секступольные линзы и др.)
- Устройства для генерации СИ (вигглеры и ондуляторы включая сверхпроводящие)
- Вакуумные и криогенные системы
- ВЧ генераторы, волноводы и резонаторы
- Электронные системы для диагностики и управления

Опыт разработки, создания и запуска больших ускорительных систем и комплексов





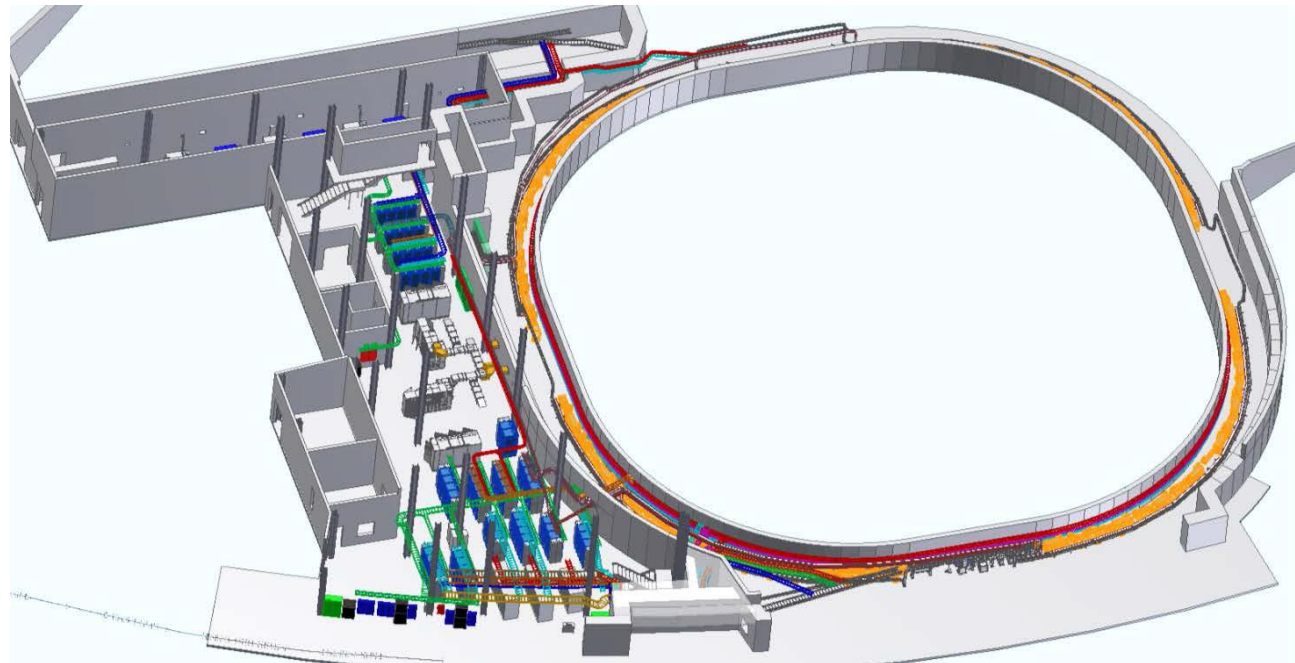
# Бустерный синхротрон

Table 4.1. General Booster Specifications

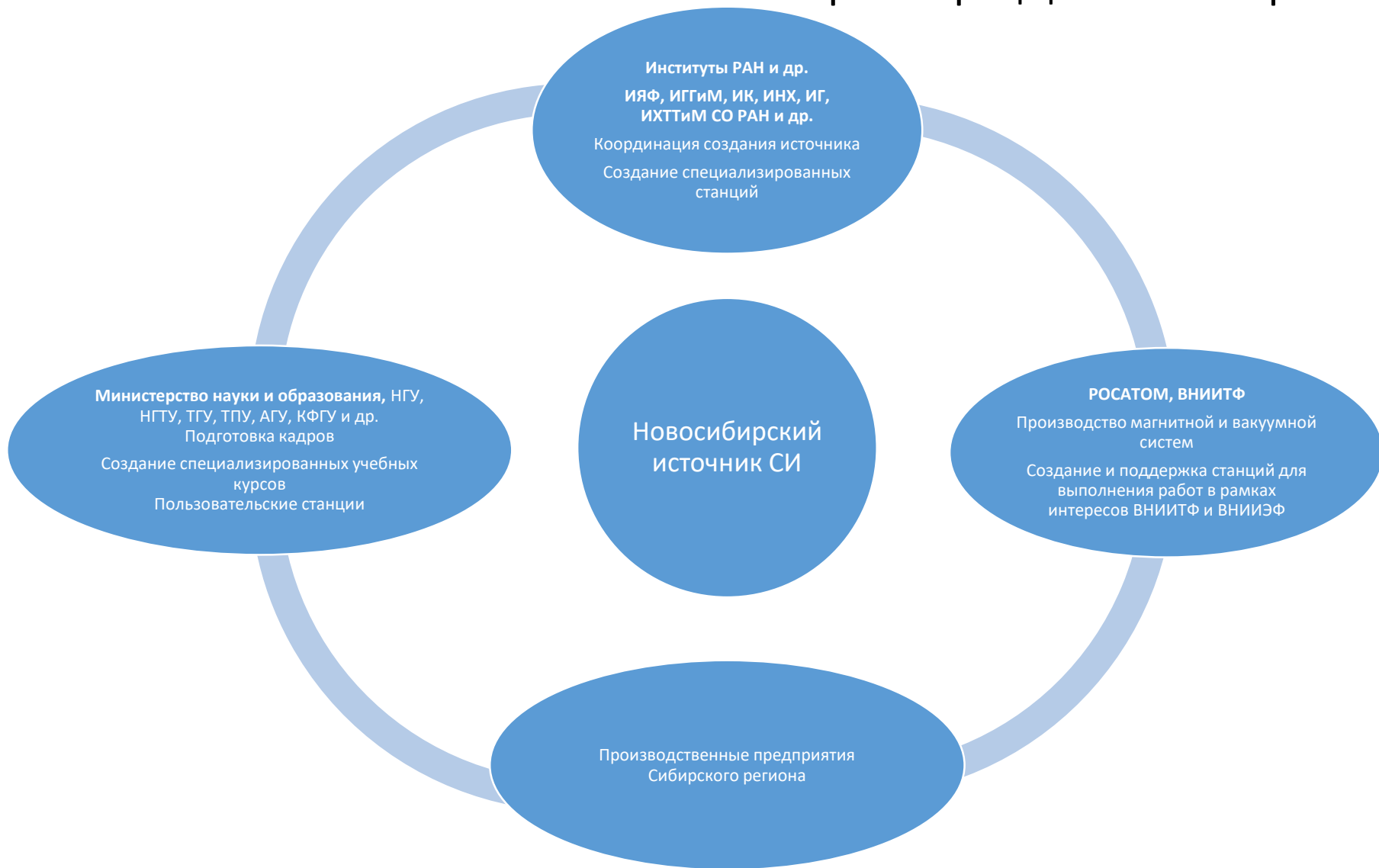
Circumference	158.4 m
Super-Periodicity	4
Operating time per year	6000 hr
<b>Unscheduled Downtime</b>	<b>0.4% (24 hr per year)</b>
Repetition rate	1 Hz (2 Hz)
RF frequency	499.68 MHz $\pm$ 10kHz
RF voltage	200V - 1.2 MV
RF Amplitude and phase jitter at 1.2 MV	$\pm$ 1% and $\pm$ 1 $^\circ$
Max RF power	72 kW



NSLS-II Buster



# Возможные участники проекта и возможное распределение работ



# Три кита – три принципа создания исследовательской инфраструктуры «mega-science»



## Scientific case:

Решение новых фундаментальных и прикладных задач.



## Human resources:

Опыт и кадровые решения.



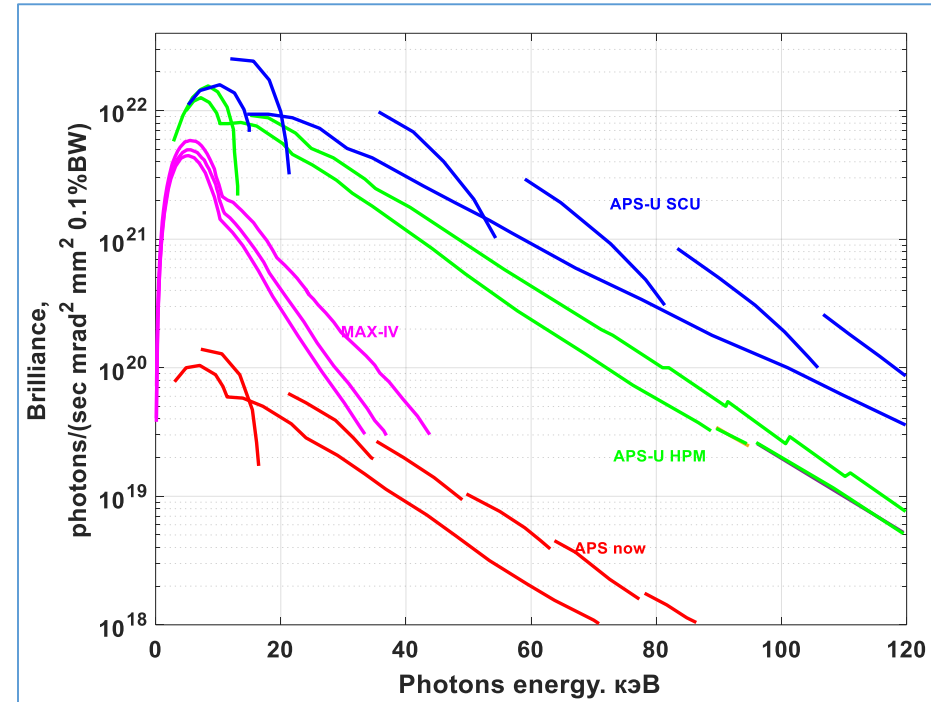
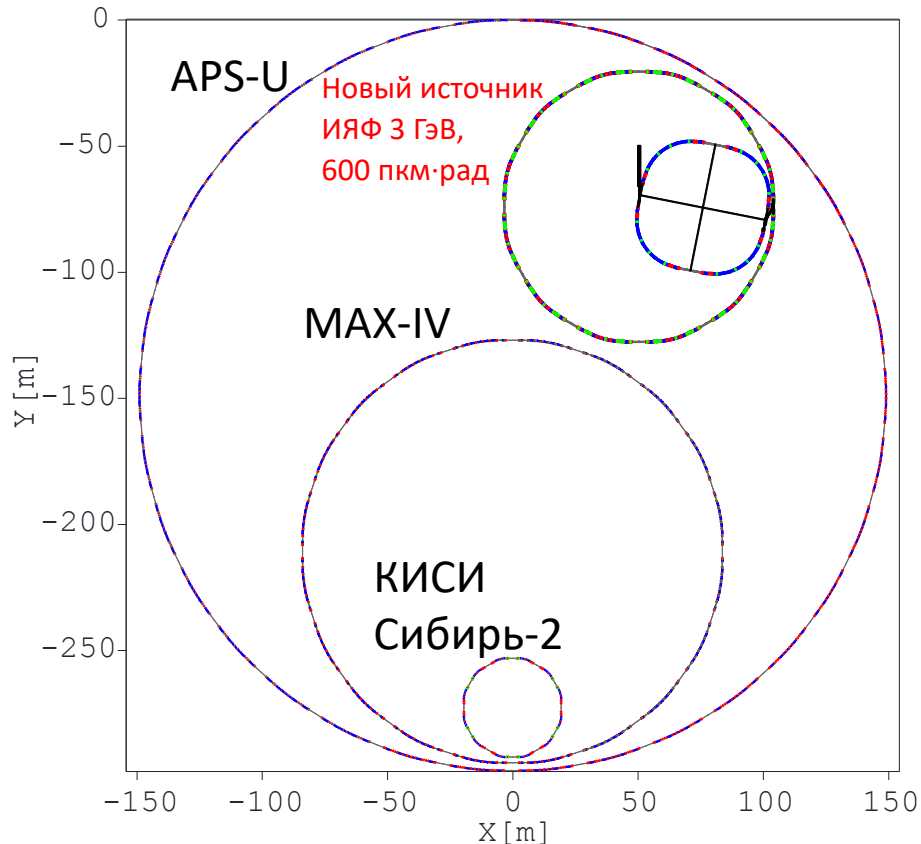
## Technology case:

Использование и развитие отечественных технологий.

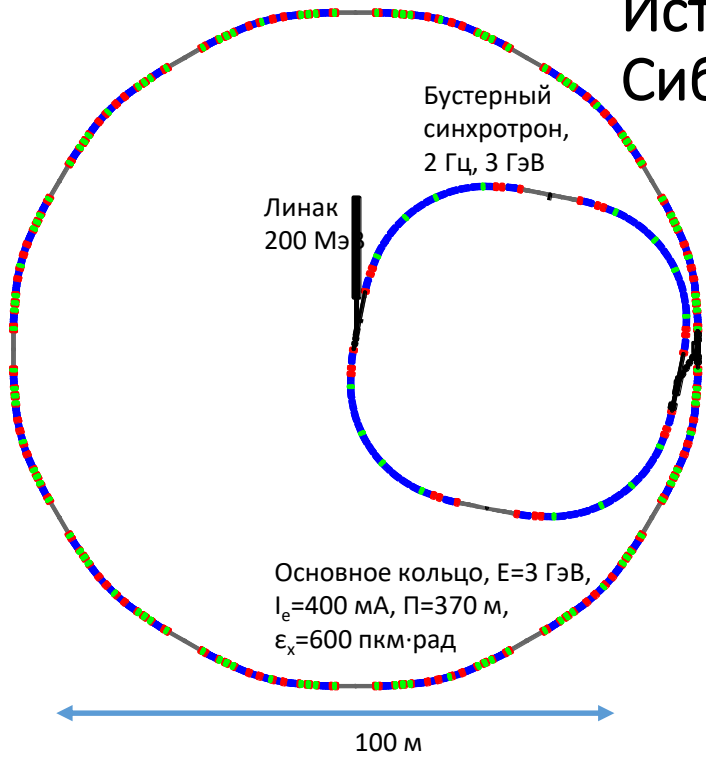


# Выбор основных параметров

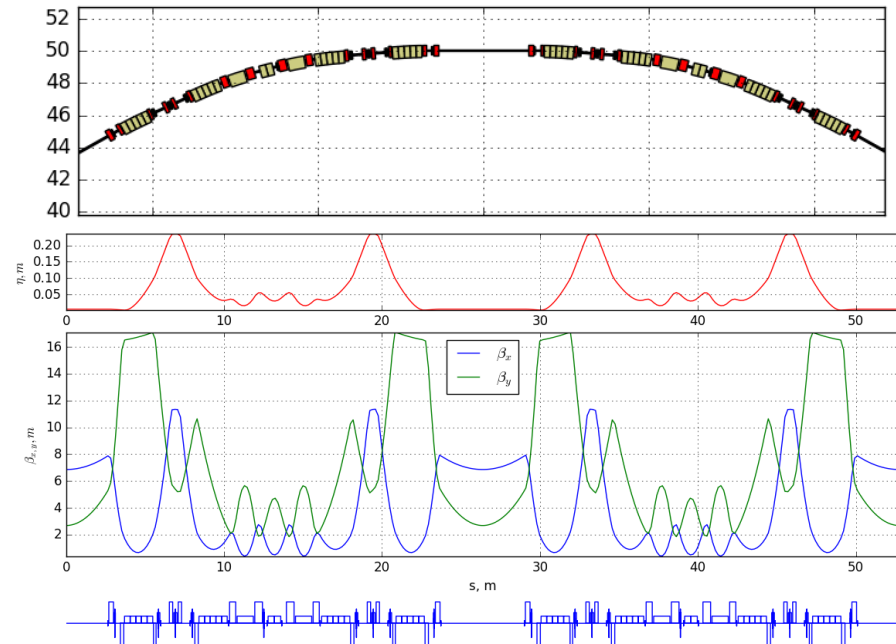
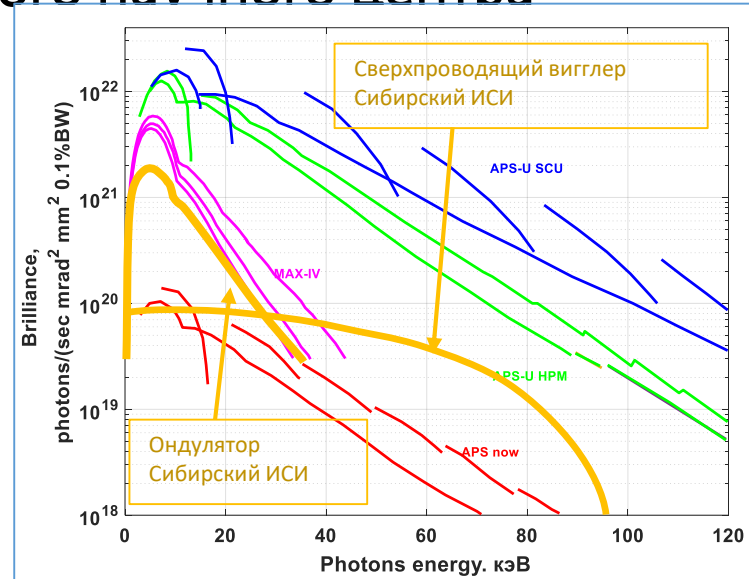
	Среднемасштабный вариант	Крупномасштабный вариант
Энергия	3 ГэВ	5 – 6 ГэВ
Периметр	300 – 500 м	1 – 1.5 км
Горизонтальный равновесный периметр	300 – 600 пкм·рад	80 – 160 пкм·рад
Примерная стоимость реализации	15 – 25 млрд. руб.	60 - ... млрд. руб
Примеры	MAX-IV	ESRF-II, APS-U, SPring-8-U, HEPS



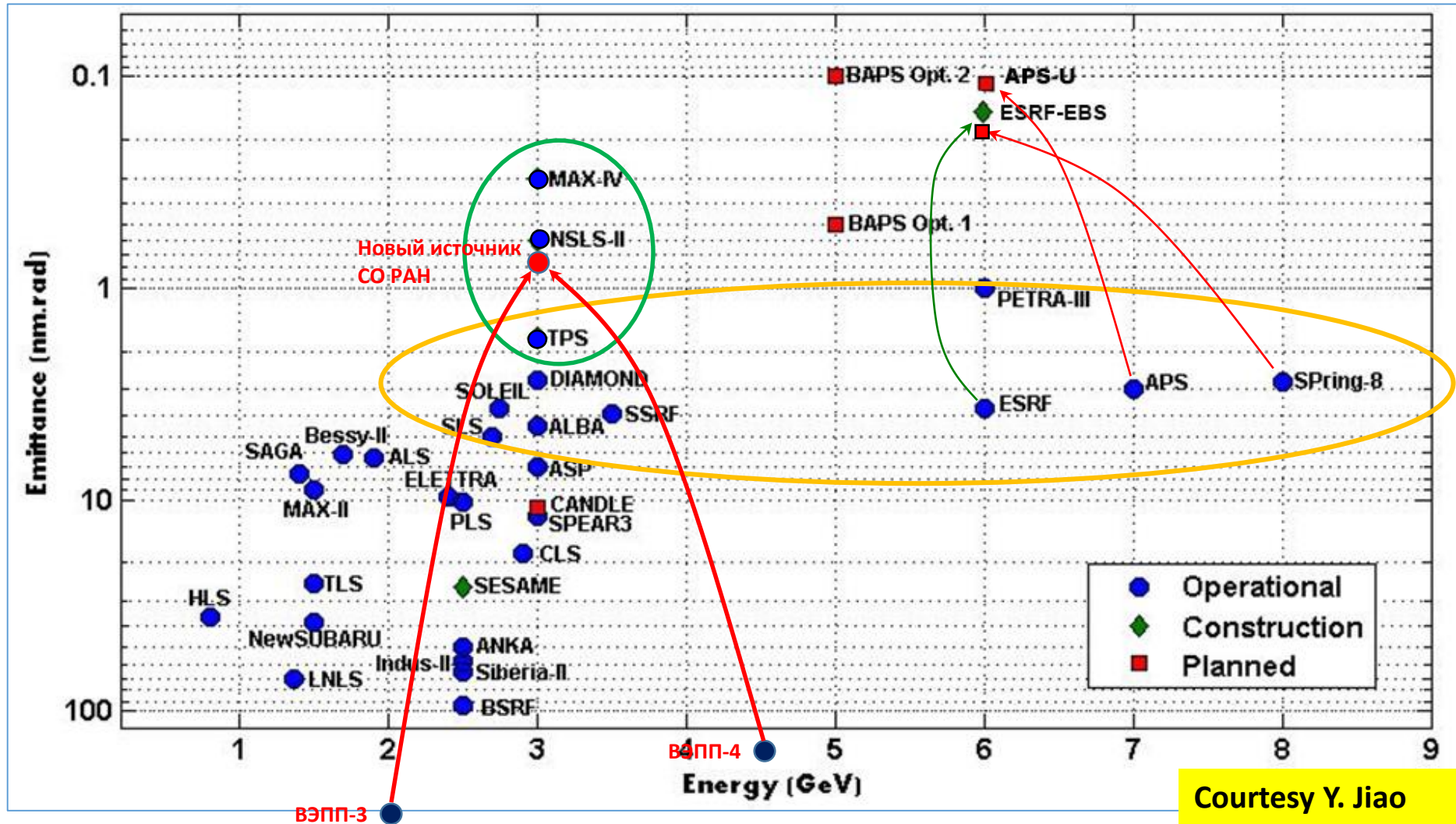
# Источник синхротронного излучения для Сибирского научного центра



Параметр	Величина
Энергия	3 ГэВ
Ток в пучке	До 400 мА (2 мА в каждом сгустке)
Эмиттанс пучка	400 пкм рад
Тип инъекции	На полной энергии
Длина орбиты	~ 360 м
ВЧ	180 МГц
Генераторы СИ	12 вигглеров или ондуляторов
Количество пользовательских станций	30



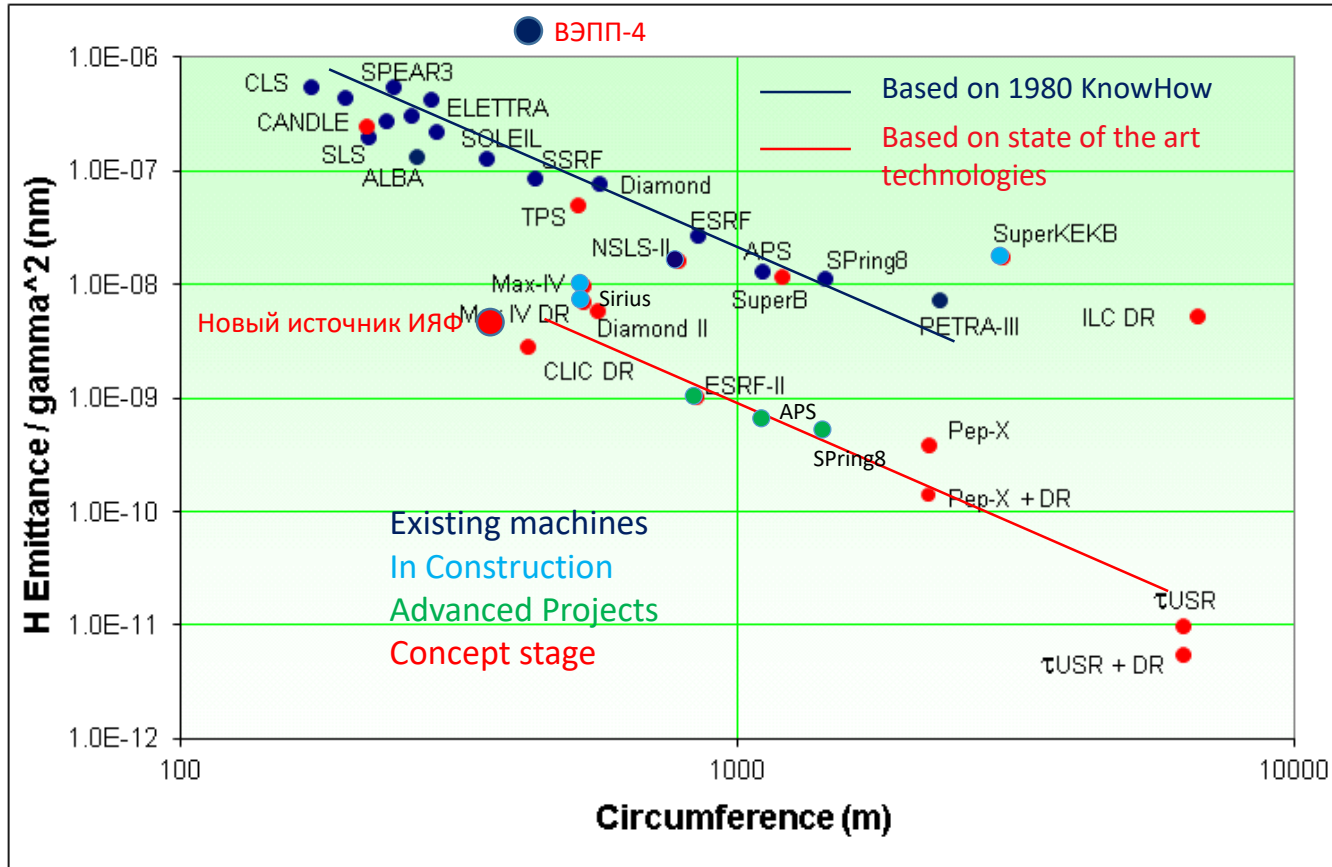
# Источники СИ в мире (эмиттанс-энергия)



Courtesy Y. Jiao

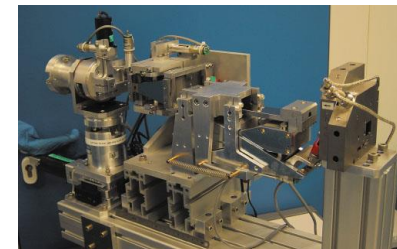
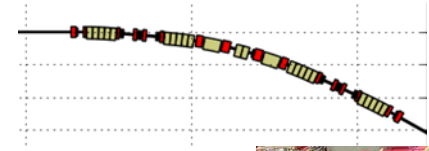


# Новый технологический тренд в создании источников СИ



# Стратегия создания проекта и национальная программа создания источников СИ

- Разработка оптимальной и масштабируемой магнитной структуры (ячейки)
- Унификация основных магнитных элементов (квадрупольных и секstupольных линз, корректоров)
- Единый подход для конструирования и производства отличающихся элементов (дипольные магниты, дипольные вакуумные камеры, гирдеры)
- Единообразии ключевых систем (ВЧ, система питания, диагностика и управление, вакуумная система, устройства генерации СИ, каналы вывода СИ и др.)
- Отработка ключевых технологий проектирования и производства на изделиях для Сибирского источника СИ, прототипирование ключевых элементов
- Сотрудничество по созданию пользовательских станций
- Подготовка коллектива разработчиков и исследователей



# Новый источник синхротронного излучения для Сибирского региона

## Основные параметры

Параметр	Величина
Энергия	3 ГэВ
Количество станций	30
Периметр источника	370 метров

## Для кого

Более 50 научных организаций СО РАН, УрО РАН, Дво РАН	
Более 10 ВУЗов	
Промышленность:	Химическая, энергетика, машиностроение и металлообработка, микробиологическая...

## Кто

Рабочих мест:	300 (100 – нс)
Пользователи (в год)	Более 10000

## Этапы и стоимость

Этапы	Сроки	Стоимость
1-я очередь	7 лет	20 млрд. руб.
2-я очередь	10 лет	2 млрд. руб. ежегодно

## Организации-пользователи

ИК СО РАН, ИГМ СО РАН, ИГил СО РАН, ИНХ СО РАН, ИХТТМ СО РАН и другие – **более 50 организаций**

**ВУЗы:** НГУ, НГТУ, ТПУ, АГУ, КФГУ – **более 10 ВУЗов**

**Мощный импульс** для развития промышленной и научной инфраструктуры региона

**+ новые материалы:**  $\text{Na}_2\text{He}$  (>100 ГПа), наноалмазы, катализаторы, механокомпозиты

**+ новые свойства:** высокотемпературная (200 К) сверхпроводимость в  $\text{H}_2\text{S}$  при 150 ГПа

**+ новые лекарства:** Витридинол, целевая доставка

**+ новые технологии:** синтез и диагностика нано- и гибридных материалов, молекулярно-биологические процессы, модифицированные поверхности

**+ энергетика будущего:** комплексные исследования материалов термоядерных реакторов

**+ импортозамещение, отсутствие аналогов в России и многое-многое другое...**