

Нейтронные исследования на базе исследовательского реактора ВВР-К: текущее состояние и планы

*Мухаметулы Б.
РГП «Институт ядерной физики» Министерства энергетики РК
Алматы, Казахстан*

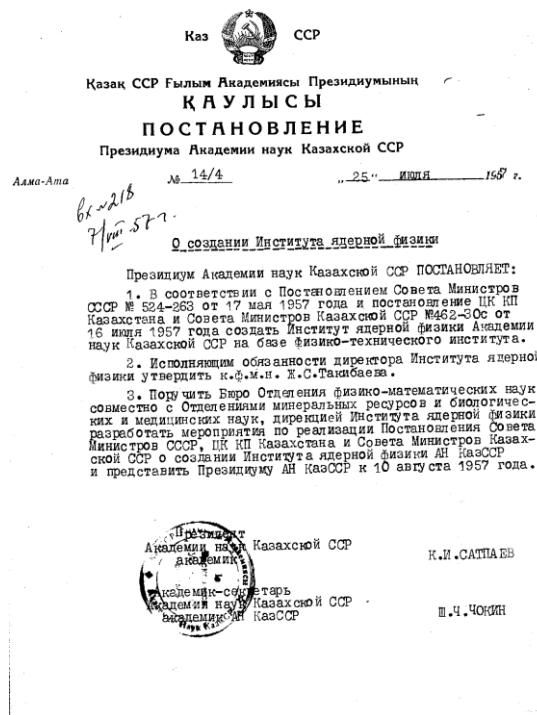
2024 год

ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ ИНСТИТУТА ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ КАЗАХСТАНА

Решающую роль в организации Института ядерной физики сыграли выдающиеся ученые нашего времени Каныш Имантаевич Сатпаев и Игорь Васильевич Курчатов.



Игорь Васильевич КУРЧАТОВ
*Лауреат Ленинской премии СССР,
лауреат 4-х Государственных премий СССР,
академик АН СССР*



1957 году 25 июля подписан постановление о
создании Института ядерной физики в Алматы



Каныш Имантаевич САТПАЕВ
*Лауреат Ленинской премии СССР,
лауреат Государственной премии СССР,
академик АН СССР, академик АН КазССР*

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ИНСТИТУТА



- **Фундаментальные исследования**
- **Прикладные исследования**
- **Разработка ядерных и радиационных технологий**
- **Оказание услуг в области использования атомной энергии**
- **Выпуск наукоемкой продукции**

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ИНСТИТУТА

Фундаментальные и прикладные исследования в области:

- ядерной физики;
- радиационной физики твердого тела;
- физики атомных реакторов;
- физики ускорителей;
- радиоэкологии;
- ядерной и радиационной безопасности;
- радиохимии и радиофармацевтики.

Оказание услуг:

- радиоэкологический мониторинг;
- обращение с источниками ионизирующих излучений;
- обращение с радиоактивными отходами;
- реабилитация радиоактивно загрязненных земель;
- радиационная стерилизация одноразовых медицинских изделий;
- анализ состава, структуры и свойств материалов;
- проектирование объектов использования атомной энергии;
- подготовка специалистов в области радиационной безопасности, ядерной безопасности, неразрушающих методов контроля.

Разработка методов и технологий:

- радиационной обработки материалов;
- производства радиоизотопов;
- ионно-плазменного синтеза покрытий;
- ЭПР-дозиметрии;
- анализа состава, структуры и свойств материалов;
- обращения с радиоактивными отходами.

Производство:

- радиоизотопов;
- радиофармацевтических препаратов;
(Оксид молибдена, Диоксид теллура, Иод-131 т.д)
- закрытых радионуклидных источников;
(Сурьма-124, Иридий- 192)
- радиационно-сшитых полимерных материалов;
- ионно-трековых мембран;
- дезактивирующих средств.

БАЗОВЫЕ УСТАНОВКИ

- Атомный реактор ВВР-К
- Критический стенд
- Изохронный циклотрон У-150М
- Электростатический перезарядный ускоритель УСП-2-1
- Ускоритель тяжелых ионов ДЦ-60
- Циклотрон Cyclone-30
- Ускорители электронов ЭЛВ-4 и ИЛУ-10



ВАЖНЫЕ ЭТАПЫ

1967

Начата эксплуатация реактора с высокообогащенным топливом и тепловой мощностью 10 МВт

1972

Модернизация активной зоны реактора. Установка семитвэлного облучательного устройства в центре активной зоны

1988

Останов реактора для проведения работ по обоснованию безопасности в условиях высокой сейсмичности

1998

Возобновление эксплуатации реактора с тепловой мощностью 6 МВт

2003

Начало НИОКР по исследованию возможности конверсии реактора

ВАЖНЫЕ ЭТАПЫ

2006

Выбрана ТВС ВВР-КН для конверсии реактора, как самая оптимальная

2011

Начало ресурсных испытаний трех экспериментальных ТВС ВВР-КН

2013

Завершены ресурсные испытания ЭТВС. В двух ЭТВС достигнуто выгорание 60% по U-235, а в третьей 50%

2015

Останов реактора для проведения модернизации. Выгрузка всего ВОУ из активной зоны

2016

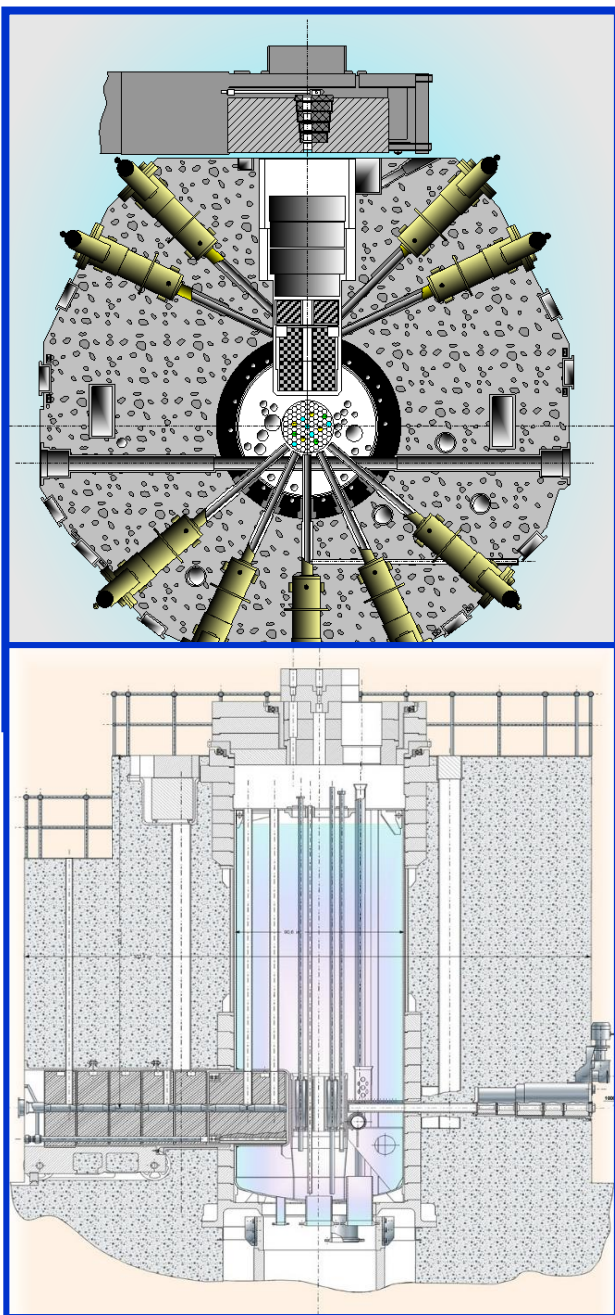
Физический и энергетический пуски с низкообогащенным топливом. Начало регулярной эксплуатации с НОУ топливом

ОПИСАНИЕ РЕАКТОРА ВВР-К



- Назначение: **исследовательский**
- Тип: **стационарный**
- Тепловая мощность: **6 МВт**
- Замедлитель: **обессоленная вода**
- Отражатель: **обессоленная вода и/или бериллий**
- Теплоноситель: **обессоленная вода**
- Охлаждение: **принудительное**
- Количество контуров охлаждения: **два**
- Диаметр активной зоны: **720 мм**
- Высота активной зоны: **600 мм**
- Максимальная плотность потока тепловых/быстрых нейтронов: **$2 \cdot 10^{14} / 4 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$**

ОПИСАНИЕ РЕАКТОРА ВВР-К



- ТВС: восьмитрубная и пятирубная ТВС ВВР-КН
- Обогащение топлива по U-235: 19,7%
- Количество регулирующих органов СУЗ: компенсирующих органов – 6; аварийной защиты – 3; автоматического регулирования – 1
- Поглотитель нейтронов в РО СУЗ: карбид бора и нержавеющая сталь
- Длительность цикла: 21 день
- Длительность расхолаживания: 14 дней
- Количество облучательных каналов: вертикальные каналы в активной зоне – 10; в отражателе – 20; горизонтальные каналы – 10; ниша экспериментальных устройств диаметром 1080 мм и длиной 2000 мм

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ РЕАКТОР ВВР-К

**Службы
эксплуатации
и реактора**

Мартюшов А.Л. –
главный инженер



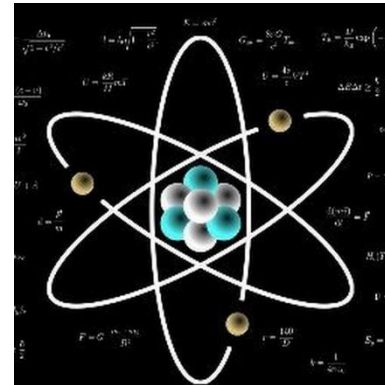
**Лаборатория
проблем
безопасности
атомной энергии**

Шаймерденов А.А.– зав.
Лаб.



**Лаборатория
нейтронной
физики**

Назаров К.– зав. Лаб

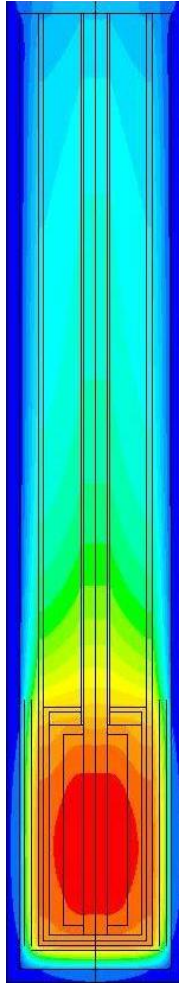


**Центр
неразрушающих
методов
контроля и
испытаний**

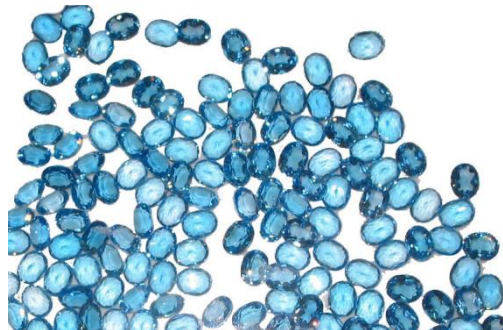
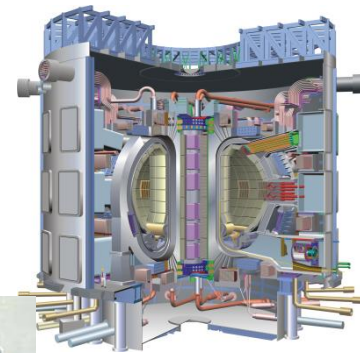
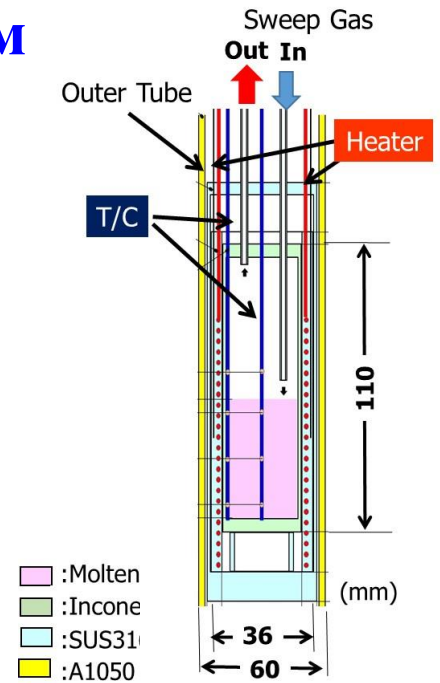
Ермаков Е.Л.– зав. Лаб



Основные направления применения реактора ВВР-К с низкообогащенным топливом



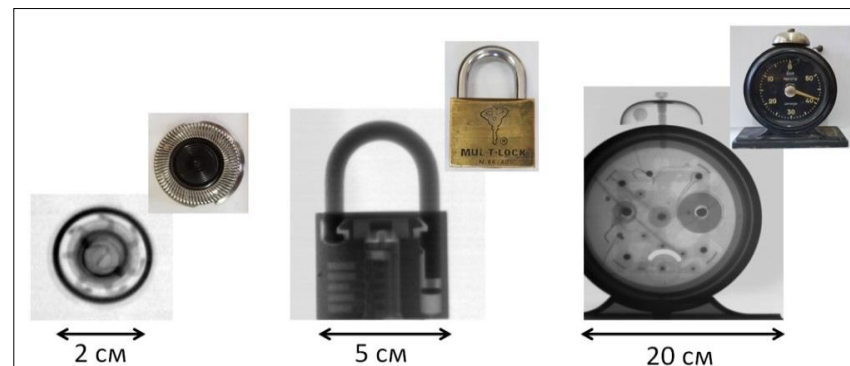
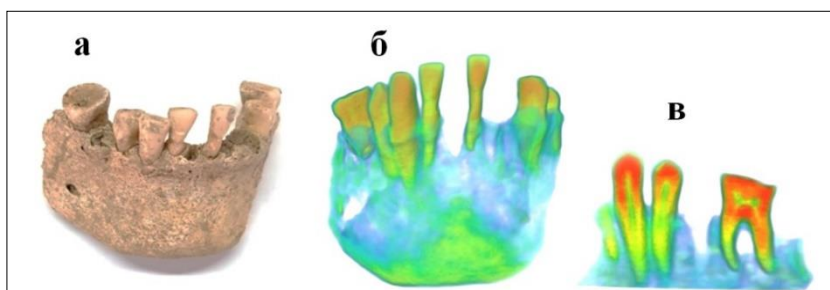
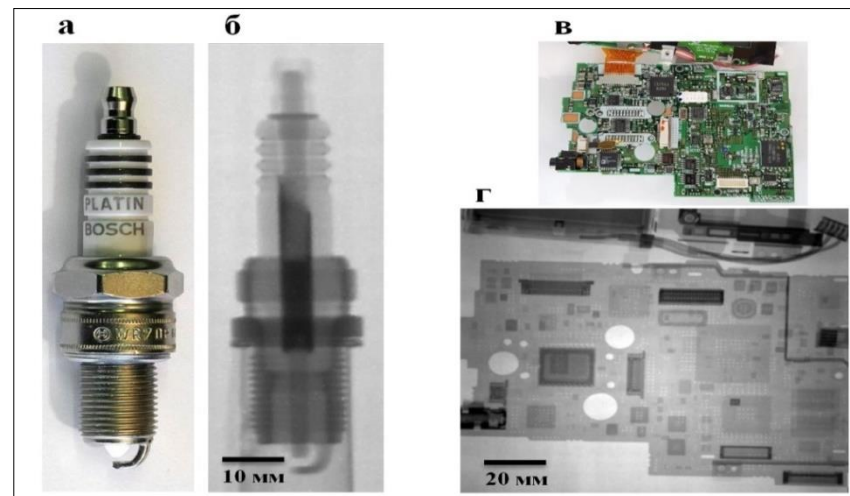
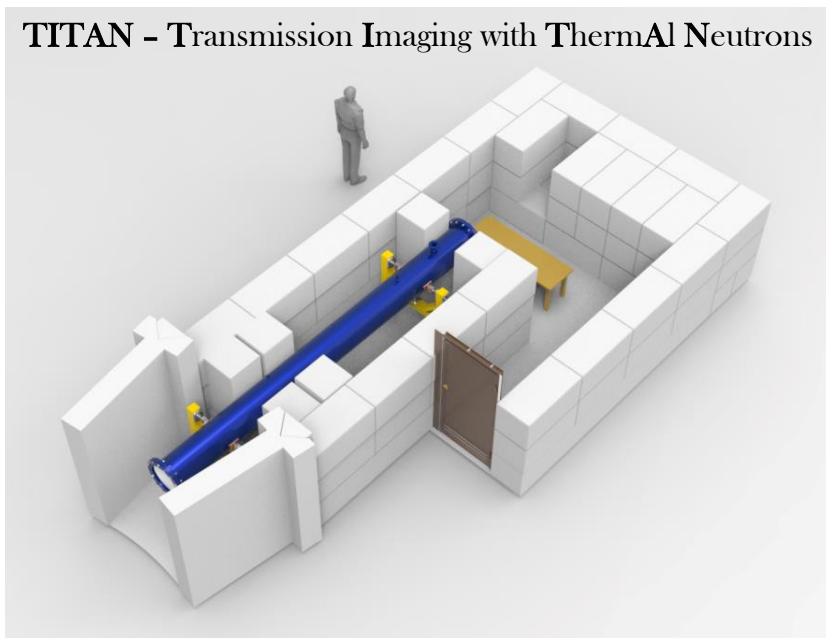
- Испытания топлива и конструкционных материалов реакторов IV-го поколения;
- Испытания материалов термоядерного реактора;
- Производство радиоизотопов для медицины и промышленности;
- Радиационная окраска полудрагоценных камней (топазов);
- Нейтронно-трансмутационное легирование кремния;
- Нейтронно-активационный анализ.
- Нейтронная радиография и томография



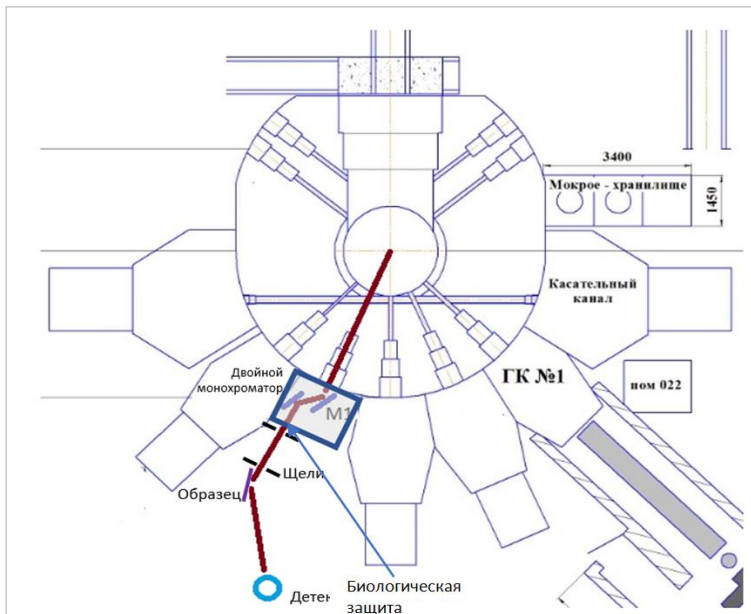
УСТАНОВКА НЕЙТРОННОЙ РАДИОГРАФИИ И ТОМОГРАФИИ



TITAN - Transmission Imaging with Thermal Neutrons



Нейтрон-томографические исследования исторических объектов на исследовательском реакторе ВВР-К
Назаров К.М., Мухаметулы Б., Кенесарин М.Р., Бекбаев А.К (12 сентября 2023 г)



Концептуальная модель рефлектометра на реакторе ВВР-К.

Основные узлы рефлектометра:

1. Коллиматор внутри шибера
2. Двойной монохроматор;
3. Фильтр;
4. коллиматорная система;
5. Образец;
6. Детектор.

Период проекта: 2023-2024

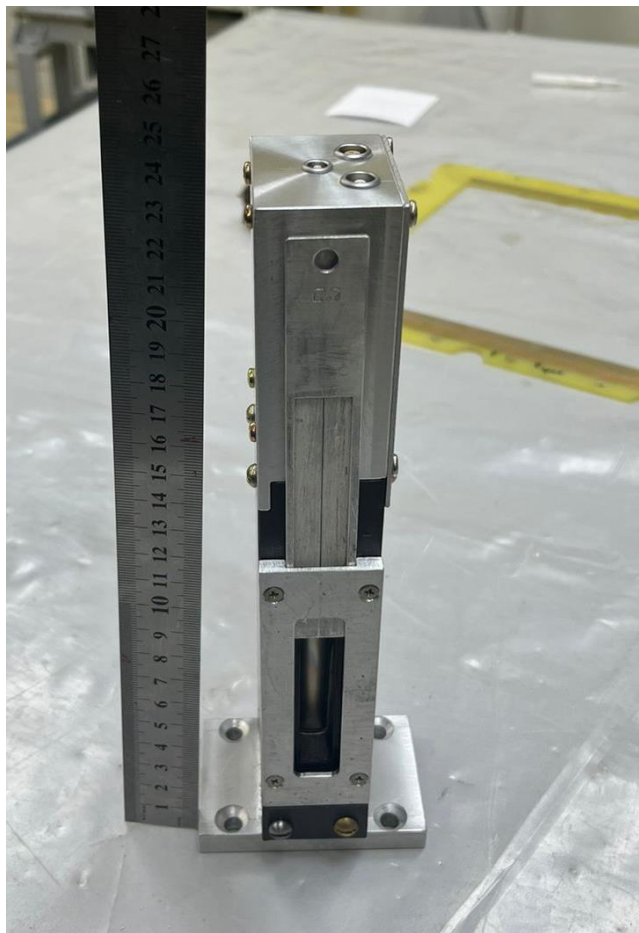
Профиль атомной плотности по глубине слоистой наносистемы, включая средние плотности на границе раздела, характерную толщину интерфейса, шероховатость по глубине на границе раздела и между слоями, длину атомной корреляции или период упорядочения по глубине.

Направления научных исследований на рефлектометре

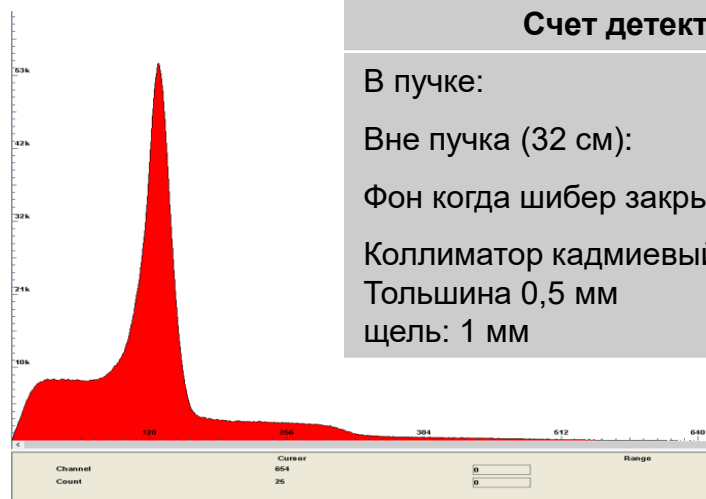
- Биологические комплексы и мембраны;
- Магнитные коллоидные системы для биомедицины;
- Полимеры и поверхностно-активные вещества в растворах;
- Бинарные смеси жидкостей в критических точках;
- Нанокomпозиционные материалы;
- Слоистые наноструктуры;
- Развитие новых методов исследования и диагностики наносистем с использованием поляризованных нейтронов.

| | |
|---|---|
| Используемый канал вывода пучка | 4 канал – диаметр 100 мм ² |
| Плоскость рассеяния | Горизонтальная |
| Плоскость образца | Вертикальная |
| Двойной монохроматор (сохранение направления пучка при изменении длины волны) | Графит PG (002) длина волны $\lambda=1.4 - 4 \text{ \AA}$ +(фильтр графит для удаления $\lambda/2, \lambda/3$) |
| Размер нейтронного пучка | 1x80 мм ² |
| Детектор | Счетчик He-3 (эффektivность 80%) |
| Коллимация | 1 мрад |
| Позиционирования образца | Вращение и поперечное перемещение |
| Потенциальное расширение | Поляризатор, анализатор, спин-флиппер, ПЧД |

Детектор нейтронов

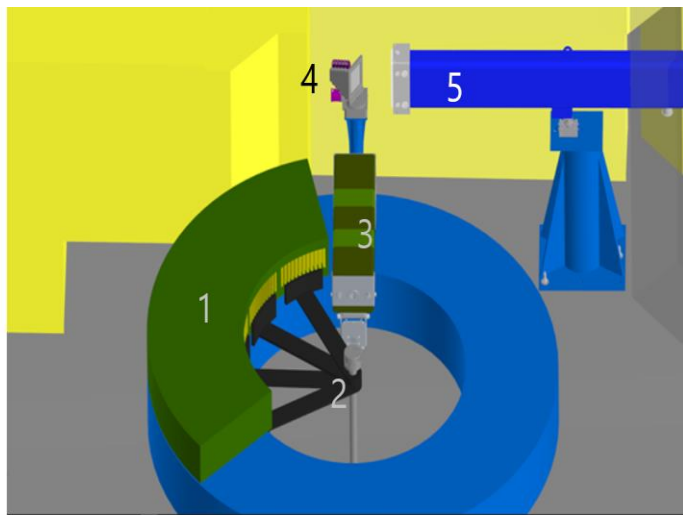


| | |
|---|--|
| Счётчик | Гелий-13/90-15,5/Л (НПФ Консенсус) |
| Режим работы | пропорциональный |
| Давление газа ^3He | 15,5 атм |
| Эффективная длина | 90 мм |
| Эффективность регистрации | 80 % |
| Рабочее напряжение | 1600-1700 В |



| Счет детектора | |
|--|---------------|
| В пучке: | 43890 |
| Вне пучка (32 см): | 98-100 |
| Фон когда шибер закрыт: | 8-9 |
| Коллиматор кадмиевый Толщина 0,5 мм щель: 1 мм | 3-4 |

**Энергетический спектр газового
счетчика**



Концептуальная модель нового дифрактометра на реакторе ВВР-К.

Представлено схематическое изображение основных узлов дифрактометра:

1. мультidetекторная система, состоящая из 4 модулей с независимым позиционирование;
2. модуль крепления образца;
3. коллиматорная система;
4. блок фокусирующего монохроматора с монокристаллами германия;
5. секция нейтронотода для выведения нейтронного пучка от пучкового выхода реактора ВВР-К.

Изучение особенностей структурного строения и динамики новых функциональных материалов и наносистем важны для развития современных представлений в области:

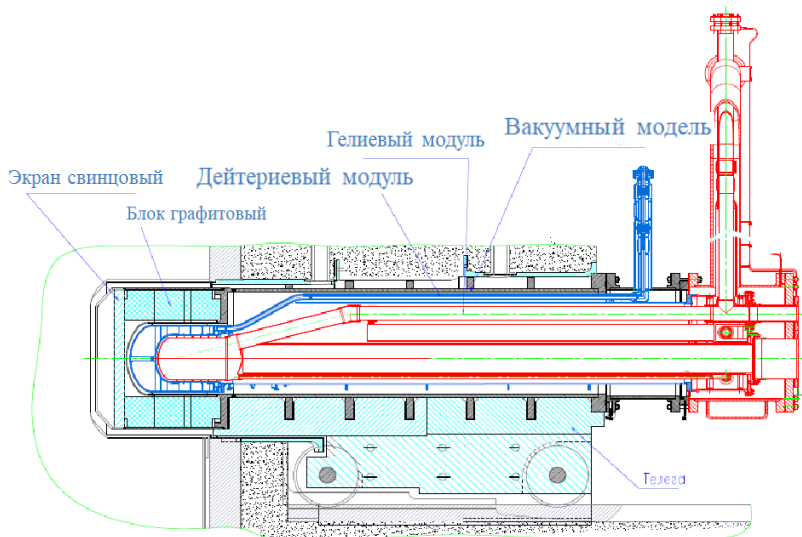
- Физики конденсированных сред
- Материаловедения
- Химии (электрохимия)
- Геофизики (редкоземельные элементы)
- Инженерных наук (реакторостроение, ракетостроение и тд)
- Биологии и фармакологии (белки, нано-порошки)
- Развития современных технологий

Ожидаемые характеристические параметры нового дифрактометра

| Параметры | |
|---|-------------------|
| 1. Поток тепловых нейтронов на образце (н/см ² /с) | 2·10 ⁷ |
| 2. Расстояние: выход пучка - монохроматор | 2.0 м |
| Монохроматор-образец | 1.5 м |
| 3. Длина волны | 0.9-1.54Å |
| 4. Разрешение | 0.01-0.001 Å |
| 5. Объем образца, мм ³ | 100 |
| 6. Характерное время измерения спектра | 1-5 ч. |

Период проекта: 2023-2028

ВЫСОКОИНТЕНСИВНЫЙ ИСТОЧНИК УЛЬТРАХОЛОДНЫХ НЕЙТРОНОВ НА ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ РЕАКТОРЕ ВВР-К



Источник важен для развития современных представлений в области:

- **Задачи фундаментальной физики:**
 - уточнение времени жизни нейтрона;
 - Электрический дипольный момент нейтрона;
 - эксперимент с энергетическими уровнями нейтронов в гравитационном поле;
 - изучение нестационарных квантовых эффектов;
- **Развития современных технологий**
- **Методические задачи (исследование новых материалов для хранения и т.п.)**
- **Физики конденсированных сред**

Ожидаемые характеристические параметры источника УХН

Ожидаемый поток УХН: $\sim 10^4$

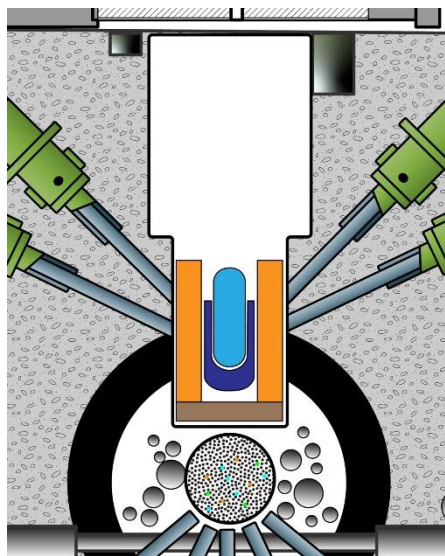
| Параметры | |
|---|--------------------------|
| 1. Минимальная длина нейтропровода, L_{\min} , м | 3.5* |
| 2. Диаметр нейтропровода, d, см | 32* |
| 3. Максимальная плотность потока тепловых нейтронов в тяжеловодном отражателе реактора вблизи активной зоны, J_0 , $n \cdot s^{-1} \cdot cm^{-2}$ | $\sim 2 \cdot 10^{12}$ * |
| 4. Плотность потока тепловых нейтронов на конце нейтропровода, J, $n \cdot s^{-1} \cdot cm^{-2}$ | $\sim 4 \cdot 10^8$ * |
| 5. Интегральный поток тепловых нейтронов на конце нейтропровода, F, $n \cdot s^{-1}$ | $\sim 4 \cdot 10^{11}$ * |
| 6. Объемная плотность УХН в источнике, $\rho_{УХН}$, $1/cm^3$ | ~ 456 * |

Специальные отражатели
холодных нейтронов

Камера из бериллия

Свинцовая защита

Жидкий гелий
(конвертер УХН)



Период проекта: 2023-2030

| ILL (France) | PSI (Switzerland) | LANL(USA) | NCSU (USA) | INP(KZ) |
|------------------------|------------------------|-------------------------------------|------------------------|-------------------------------------|
| 50 УХН/cm ³ | 80 УХН/cm ³ | 10 ² УХН/cm ³ | 30 УХН/cm ³ | 10 ⁴ УХН/cm ³ |

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ !



ГОТОВА ОТВЕТИТЬ НА ВАШИ ВОПРОСЫ