

# ВЫСОКОИНТЕНСИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ УХН НА РЕАКТОРАХ ВВР-М И ПИК

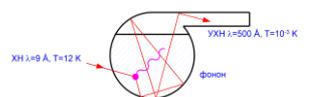
А. П. Серебров<sup>1</sup>, А. К. Фомин<sup>1</sup>, А.Г. Харитонов<sup>1</sup>, В.А. Лямкин<sup>1</sup>, Д.В. Прудников<sup>1</sup>, С.А. Иванов<sup>1</sup>, А.Н. Ерыкалов<sup>1</sup>, М.С. Онегин<sup>1</sup>, В. А. Митюхляев<sup>1</sup>, А. А. Захаров<sup>1</sup>, К.А.Гриднев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Петербургский институт ядерной физики им. Б. П. Константинова, Гатчина, Россия

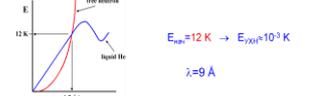
<sup>2</sup>Санкт-Петербургский Государственный Университет, Санкт-Петербург, Россия

## ОСНОВНАЯ ИДЕЯ ИСТОЧНИКА УХН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЕРХТЕКУЧЕГО ГЕЛИЯ

Сверхтекучий гелий – это жидкая фаза, имеющая единственные свойства сверхтекучести и сверхпроводимости. Не менее удивительно, но менее известны свойства жидкофазного сверхтекучего гелия с нейтронами. Сверхтекучий гелий обладает колоссальной прозрачностью для нейтронных пучков, нейтронов.

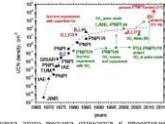


Элементарная ячейка Лангмюра, охватывающая энергию и импульс возбуждений (фононов, ротоннов) в сверхтекучем гелии переносится с квантом Е=р/2m для нейтрона в одной точке. Эта точка соответствует энергии возбуждения (в данном случае) 12 К. Это означает, что УХН имеет "тепловую" длину волны с энергией 12 К. Фонон фонон при температуре сверхтекучего гелия 1 К практически нег, т.е. колоссальной фактор – это колоссальная в сто раз – 10<sup>10</sup> раз – обогнающая исключительная прозрачность сверхтекучего гелия для УХН. Действительно, УХН могут "идти" в сверхтекучем гелии до нескольких десятков и сотни секунд. Ультразвуковые нейтроны "рождаются" в гелии из коллимированных нейтронов с длиной волны 9 А или энергии 12 К, которая как раз равна энергии фонона, т.е. коллимированный нейтрон возбуждает фонон и сам протекать останавливается, становясь ультразвуковым. Холодные нейтроны проникают через стенку вакуума, а ультразвуковые отражаются, поэтому возникает эффект накопления УХН до плотности определенной времени хранения в вакууме с гелием.



## ПРОГРЕСС РАЗВИТИЯ ИСТОЧНИКОВ УХН

Мировой прогресс в достижении плотности ультразвуковых нейтронов составляет 10-40 н/см<sup>3</sup>.



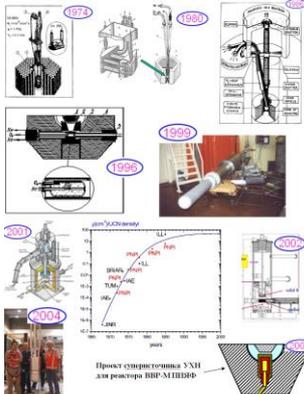
Последняя точка этого рисунка относится к проектам параметров нового источника на реакторе ВВР-М (ПИИФ) на основе нового поколения точных технологий с использованием сверхтекучего гелия. Коллектив ПИИФ имеет богатый опыт в разработке источников холодных и ультракриальных нейтронов, начиная с 70-х годов прошлого века. В институте были разработаны следующие источники ультразвуковых и холодных нейтронов:

## УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ИСТОЧНИК В ЦЕНТРЕ ЯДРА РЕАКТОРА ВВР-М ПИИФ



## ТВЕРДОТЕПЕРНЫЙ ИСТОЧНИК УХН НА ВВР-М В ПИИФ

## ОПЫТ ПИИФ В РАЗРАБОТКАХ ИНТЕНСИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ УХН



## ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ УХН

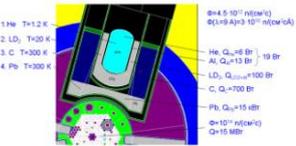
Новое поколение точных технологий с высокой плотностью ультразвуковых нейтронов позволит значительно продвигаться в вопросах фундаментальных исследований. С использованием новых технологий предлагается улучшить точность измерений УХН нейтронов на два порядка величины и проверить предсказания суперионизированной теории, которые являются одним из вариантов расширения Стандартной Модели.



# ИСТОЧНИК УХН НА РЕАКТОРЕ ВВР-М

## ВНУТРЕЯДЕРНАЯ ЧАСТЬ ИСТОЧНИКА УХН НА РЕАКТОРЕ ВВР-М

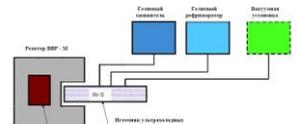
На базе действующего исследовательского реактора ВВР-М предлагается создать высокоинтенсивный источник ультразвуковых нейтронов для научных исследований в области фундаментальной физики и изучения наноструктур. Низкотемпературная часть источника УХН на реакторе ВВР-М размещается в топливной ядре реактора.



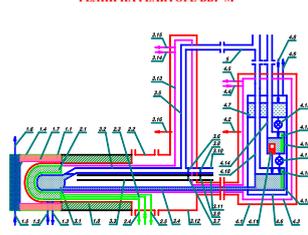
Соединение с внешними контурами и нейтронными каналами вне реактора, внутри дополнительной биологической защиты. Распространенные варианты имеют одинаковое внешнее технологическое обеспечение и технологические характеристики оборудования, которое обеспечивает работу источника. Различия заключаются только в конструкции низкоэнергетической части.

Работа низкоэнергетической части обеспечивается тремя основными независимыми установками:

- гелиевый рефрижератор,
- гелиевый конденсатор,
- вакуумная установка.



## УСТРОЙСТВО ИСТОЧНИКА УХН НА СВЕРХТЕКУЧЕМ ГЕЛИИ НА РЕАКТОРЕ ВВР-М



- 1.1. Тепловой экран (ТЭК).
- 1.2. Подка газобарного гелия на охлаждение теплового экрана.
- 1.3. Отвод газобарного гелия после охлаждения теплового экрана.
- 1.4. Возврат вакуумного объема источника.
- 1.5. Тепловой кросст.
- 2.1. Вакуумный колокол.
- 2.2. Вакуумная откачка воздуха.
- 2.3. Тепловой экран (ТЭК).
- 2.4. Подка газобарного гелия на охлаждение теплового экрана.
- 2.5. Отвод газобарного гелия после охлаждения теплового экрана.
- 2.6. Тепловой экран (ТЭК).
- 2.7. Верхняя гелевая ванна (4 ТЭК).
- 2.8. Заливка верхней ванны жидким гелием.
- 2.9. Отвод верхней гелии из верхней ванны.
- 2.10. Промокающая гелевая ванна (1 ТЭК).
- 2.11. Фигурный гелий.
- 2.12. Датчик уровня жидкости в промокающей гелевой ванне.
- 2.13. Вставка подка гелия в промокающую ванну.
- 2.14. Трубопровод вакуумной откачки промокающей гелевой ванны.
- 2.15. Нижняя гелевая ванна (1 ТЭК).
- 2.16. Датчик уровня жидкости в нижней гелевой ванне.
- 2.17. Вставка подка гелия в нижнюю ванну.
- 2.18. Трубопровод вакуумной откачки нижней гелевой ванны.
3. Внешний общий трубопровод вакуумной.

## ПОЛНОМАСШТАБНАЯ МОДЕЛЬ ИСТОЧНИКА УХН

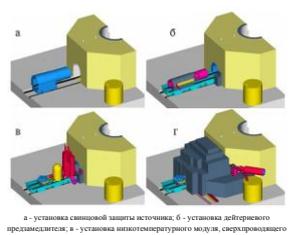
В настоящее время завершается создание полномасштабной модели источника и готовится проведение исследовательских работ со сверхтекучим гелием. Главная задача состоит в исследовании возможности и управления температурой 1К при тепловой нагрузке 20 Вт. После решения этой задачи будет экспериментально обоснована возможность размещения источника со сверхтекучим гелием в топливной колонне реактора ВВР-М.



## ГЕЛИЕВЫЙ РЕФРИЖЕРАТОР ТРС-50, КРИСТАЛ ГЕЛИЕВЫЙ ОБЪЕКТ ИВ-1-200



## МОНТАЖ ИСТОЧНИКА УХН НА РЕАКТОРЕ ВВР-М



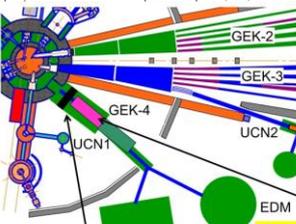
а – установка силовой защиты источника; б – установка детекторного преобразователя; в – установка вакуумногерметичного колокола сверхпроводящего магнита-оператора УХН и коммутатор ручного УХН; г – установка биологической защиты источника.



# ИСТОЧНИК УХН НА РЕАКТОРЕ ПИК

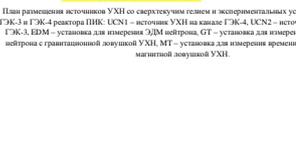
## ПРОЕКТ ИСТОЧНИКА УХН НА РЕАКТОРЕ ПИК

В настоящее время в ФГУ «ПИИФ» завершается создание научно-исследовательского реакторного комплекса ПИК – одного из этапов на территории России проекта, включенного Программой РФ в программу создания собственных мегаустановок мирового класса. Реактор ПИК входит в число самых мощных в мире высокоинтенсивных исследовательских реакторов. Оригинальные ядра реактора ПИК ГЖ-3 и ГЖ-4 будут основаны жидкофазированном источнике холодных нейтронов для проведения фундаментальных исследований и изучения наноструктур. На этих ядрах планируется установить источник для производства ультразвуковых нейтронов (УХН). В проекте камеры со сверхтекучим гелием имеет форму цилиндра диаметром 300 мм. Объем камеры равен 100 л. Скорость производства УХН в сверхтекучем гелии составляет 100 см<sup>3</sup> с<sup>-1</sup> при потоке нейтронов Ф<sub>0</sub> = 9 А<sup>2</sup> · 10<sup>10</sup> см<sup>-2</sup> с<sup>-1</sup>.



## Висмутовый Фильтр

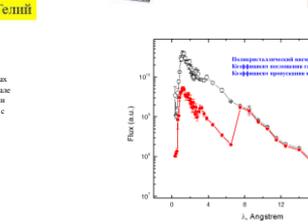
План размещения источника УХН со сверхтекучим гелием и экспериментальных установок на каналах ГЖ-3 и ГЖ-4 реактора ПИК. ИСХ1 – источник УХН на ядре ГЖ-3, ИСХ2 – источник УХН на ядре ГЖ-4, EDM – установка для измерения УХН нейтронов, GT – установка для измерения времени жизни нейтрона с гранитной дозой УХН, MT – установка для измерения времени жизни нейтрона с жидкой дозой УХН.



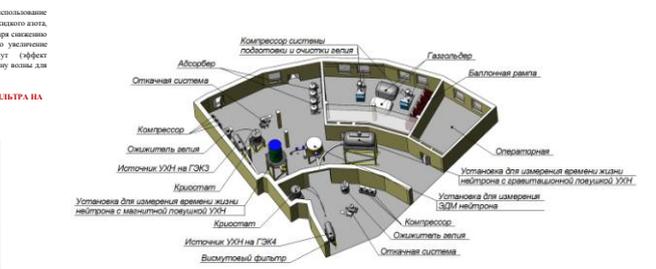
## ВИСМУТОВЫЙ ФИЛЬТР

Размещение дозойки с жидким гелием внутри теплоизолированных экранов, а также использование радиационного фильтра в виде висмутового слоя вместо охлаждающего до температуры жидкого азота, позволяют решить проблему охлаждения теплового экрана. Это происходит благодаря сложению потоков быстрых нейтронов и гамма-квантов за счет рассеяния. Кроме того, имеет место увеличение количества холодных нейтронов, которые свободно фильтруются через висмут – эффект полупрозрачного фильтра для нейтронов с длиной волны, превышающей граничную длину волны для брэгговского рассеяния).

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ПОДТВЕРЖДЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВИСМУТОВОГО ФИЛЬТРА НА РЕАКТОРЕ ВВР-М



## СХЕМА РАЗМЕЩЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ИСТОЧНИКА УХН НА РЕАКТОРЕ ПИК



## СРАВНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЕКТОВ ИСТОЧНИКОВ УХН НА РЕАКТОРАХ ВВР-М И ПИК

Параметр	ВВР-М	ПИК	ГЖ-3	ГЖ-4	Фигур
Объем Н.с. ядра	35	150	4		
Плотность УХН нейтронов, н/см <sup>3</sup>	3 · 10 <sup>10</sup>	1,1 · 10 <sup>10</sup>	1,50		
Плотность УХН нейтронов, н/см <sup>3</sup>	8 · 10 <sup>10</sup>	7,5 · 10 <sup>10</sup>	1,50		
Прозрачность, с	20	15	1		
Энерговыделение в гелевой камере, Вт		10			
Энерговыделение в биологической защите (0-100см), Вт		0,5			