

## Аннотация к проекту «Создание комплекса криогенных замедлителей ИЯУ ИБР-2»

Большинство современных экспериментов проводятся в диапазоне длин волн от 0,4 Å и выше [1]. Это область «тепловых» (0,4 – 4 Å) и «холодных» (4 – 28 Å) или длинноволновых нейтронов. Снижение энергии нейтронного потока до энергии «холодных» нейтронов ( $5 \cdot 10^{-3}$  эВ) и ниже увеличивает волновые функции нейтрона, и он начинает «видеть» не только отдельные атомы, но и их конгломерации, большие молекулы и молекулярные образования. Длинноволновые нейтроны позволяют с высокой точностью изучать биологические объекты, наноматериалы, магнитные структуры и т.п. Они наиболее предпочтительны при изучении сложных, среднесложных и магнитных структур, автоиндексации, изучении фазовых переходов, процессов синтеза веществ в реальном времени и т.д. [2].

В рамках темы 1105 на исследовательской ядерной установке ИБР-2 создается комплекс криогенных замедлителей нейтронов, успешная реализация которого позволит получать оптимальный спектр нейтронного потока на каждом из 16 физических инструментов. Для достижения этой цели, а также учитывая технологические особенности и геометрическую форму реактора, вокруг активной зоны будет размещено 3 криогенных замедлителя нейтронов (рис. 1):

- КЗ 201 для пучков 1, 4, 5, 6, 9
- КЗ 202 для пучков 7, 8, 10, 11
- КЗ 203 для пучков 2, 3.

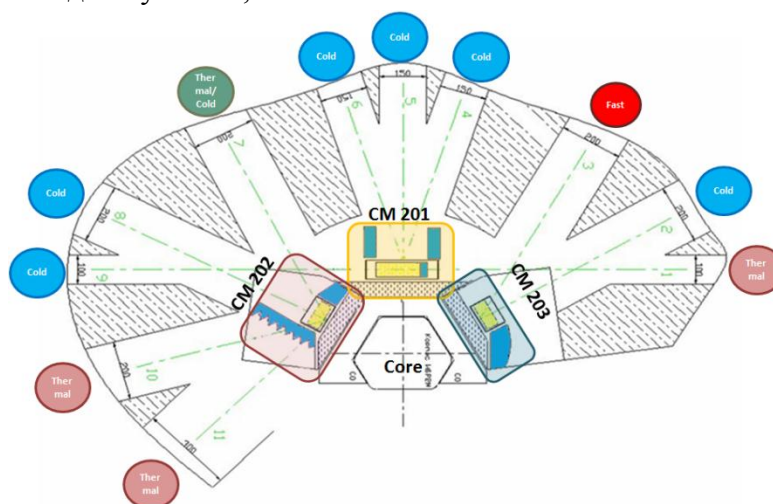


Рисунок 1. Расположение криогенных замедлителей вокруг активной зоны реактора ИБР-2 с оптимальным спектром для каждого физического инструмента, где CM – cold moderator, thermal – тепловые нейтроны, cold – холодные, fast – быстрые.

Учитывая, что на поверхность каждого из замедлителей «смотрит» до 5 инструментов, то наиболее логичным решением является создание замедлителей, имеющих криогенную камеру для формирования потока холодных нейтронов и тепловые камеры для формирования тепловых в заданных направлениях. В качестве вещества-замедлителя в тепловых камерах применяется дистиллированная вода, а в криогенной камере используется мезитилен в смеси с метаксилолом в пропорции 3/1 в твердой фазе в форме шариков диаметром 3,5 – 4 мм.

В настоящее время в ЛНФ запущена первая очередь проекта – замедлитель КЗ 202, работающий в режиме опытной эксплуатации. На этом замедлителе с 2015 года проведен цикл экспериментов на установках РЕМУР, СКАТ и НЕРА нацеленный на выяснение улучшений при использовании пучка холодных нейтронов. В результате экспериментов на установке РЕМУР была продемонстрирована возможность расщепления микропучка без применения анализа поляризации, что сократило время проведения эксперимента в 2 раза по сравнению с водяным замедлителем. Кроме этого, благодаря 10-ти кратному увеличению интенсивности в области холодных нейтронов удалось расширить рабочий диапазон установки до 16 Å. Ось пучка дифрактометра СКАТ попадает на часть криогенной камеры и на часть гребенчатого водяного замедлителя, в результате чего на образце формируется смешанный спектр нейтронного потока – оптимальный для физической установки. Это приводит к увеличению потока нейтронов в 4 раза в области длины волны 4,31 Å, благодаря чему сокращается время проведения эксперимента в 4 раза, а увеличение интенсивности позволило идентифицировать единственный пик кальцита (104) в сложноструктурном оливите, который при работе теплового замедлителя перекрывался пиками от других минералов [3 – 5].

Благодаря проведённой модернизации криогенной системы комплекса замедлителей удалось снизить минимальную температуру в криогенной камере на 10 К (с 32 К до 22 К), в результате, чего поток нейтронов в области 7 Å вырос на 22 %. Также были получены данные по зависимости нейтронного спектра от температуры замедлителя в диапазоне от 22 К до 100 К (рис. 2).

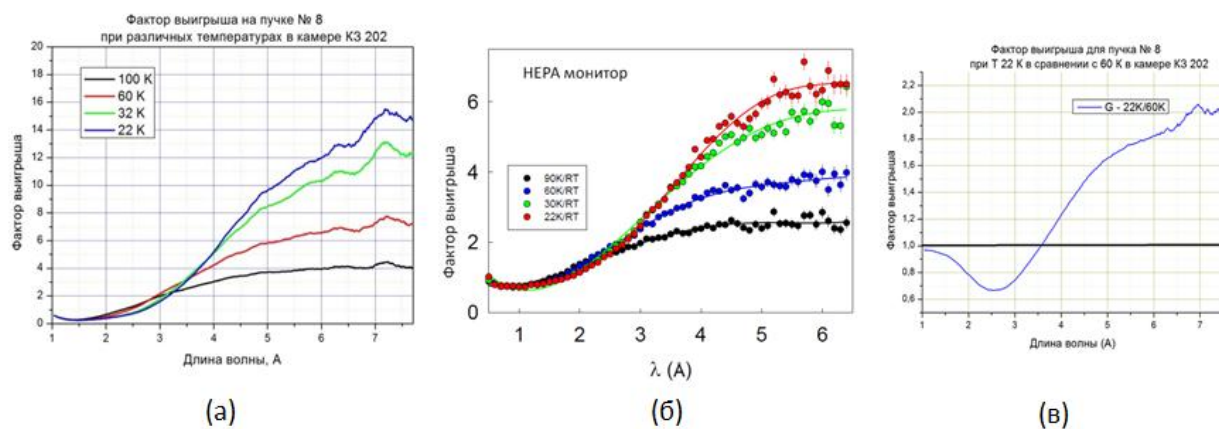


Рисунок 12. Зависимость спектра нейтронного потока от температуры замедляющего вещества внутри криогенной камеры КЗ 202 где, а – фактор выигрыша на спектрометре РЕМУР при различной температуре, б – на спектрометре НЕРА, в – выигрыш при снижении температуры с 60 К до 22 К на спектрометре РЕМУР.

Комплекс криогенных замедлителей включает себя сложные системы, уникальные устройства и разработки, применённые впервые, часть из которых защищена патентами. Такое оборудование, обученный и аттестованный персонал, а также разработанные и внедренные методики позволили отработать без аварий и отказов КЗ 202 на физический эксперимент более 3300 часов.

В рамках темы 1105 по проекту «Создание комплекса криогенных замедлителей ИЯУ ИБР-2» в 2020-2022 году планируется:

- продолжить работу на КЗ 202 в режиме опытной эксплуатации, с проведением работ по исследованию вязкости рабочей смеси в зависимости от дозы ионизирующего излучения пуска в эксплуатацию КЗ 201;
- начать опытную эксплуатацию КЗ 201;
- определить нейтронно-физические параметры КЗ 201 в различных режимах работы и при разных температурах на физических установках ИБР-2;
- продолжить модернизацию криогенной системы комплекса замедлителей с учетом покупки нового рефрижератора холодильной мощностью 1800 Вт при 10 К;
- провести оптимизацию работы оборудования криогенной системы, с учетом вновь вводимого оборудования в эксплуатацию;
- разработать и провести лабораторные испытания устройства порционной выгрузки шариков из камеры замедлителя в твердой фазе;
- на полномасштабном стенде КЗ 201 испытать и внедрить устройство подсчета каждого шарика оптическим методом;
- организовать собственный участок по проектированию, изготовлению и проверке на прочность и герметичность криогенных трубопроводов, сильфонных узлов, герметичных вакуумных выводов.

#### **Список использованных источников.**

1. Научные установки реактора ИБР-2 [Электронный ресурс], – <http://flnph.jinr.ru/ru/facilities/ibr-2/instruments> – электронный ресурс со свободным доступом.
2. Дифракционные исследования на реакторе ИБР-2 с использованием холодного замедлителя / Балагуров А.М. и др. // Сообщение ОИЯИ РЗ-2000-220, г. Дубна, 2000 г.
3. Использование криогенного замедлителя на нейтронном рефлектометре РЕМУР / С. В. Кожевников [и др.] // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2016. – №1, с. 5-14.
4. Спектрометр поляризованных нейтронов РЕМУР на импульсном реакторе ИБР-2 / В.Л. Аксенов [и др.] // Сообщения Объединенного Института Ядерных Исследований. – 2004. – Д13-2004-47. – Р. 37
5. Vasin, R.N. Elastic anisotropy modeling of Kimmeridge shale / R.N. Vasin [et al.] // Journal of geophysical research: solid earth. – 2013. – Vol. 118. – Р. 3931-3956.