



Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

Адрес: ИЯИ РАН, проспект 60-летия Октября, 7а, Москва, 117312
Телефоны: (499) 135-77-60, (495) 851-00-71, (495) 851-01-79 (канцелярия)
Факс: (499) 135-22-68, (495) 851-07-11
Электронная почта: inr@inr.ac.ru, inr@inr.ru; Интернет: www.inr.ru, www.inr.ac.ru

10.11.17 № 2699/22-19-01-983

На № _____

Председателю диссертационного совета
Д 720.001.06
при Лаборатории нейтронной физики им.
И.М.Франка и
Лаборатории ядерных реакций им.
Г.Н.Флерова
ОИЯИ
Академику РАН
Ю.Ц.Оганесяну

Глубокоуважаемый Юрий Цолакович!

Направляю Вам официальное заключение ведущей организации по диссертации Куликова Сергея Александровича «Холодные замедлители нейтронов на основе твердых дисперсионных водород содержащих материалов» на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики.

Директор института
Член – корреспондент РАН



Л.В.Кравчук

УТВЕРЖДАЮ
Директор ИЯИ РАН, член – корр. РАН
Л.В. Кравчук



2017 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт ядерных исследований Российской академии наук на диссертацию Куликова Сергея Александровича «Холодные замедлители нейтронов на основе твердых дисперсных водородсодержащих материалов» на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики.

Актуальность темы диссертации.

В настоящее время на источниках нейтронов, как правило, используются холодные замедлители для обеспечения необходимым спектром нейтронов проведение экспериментов по физике конденсированных сред на выведенных пучках. Большинство холодных источников, особенно, стационарных, использует жидкий водород. Однако он является не оптимальным материалом, а на импульсных реакторах его применение трудно осуществимо или совсем невозможно по соображениям ядерной безопасности. При всем многообразии альтернативных водородсодержащих материалов, применение которых возможно в холодных замедлителях, существует сравнительно мало материалов, которые бы обеспечили эффективное замедление нейтронов до низких энергий. Более того, их применение ограничено в связи с тем, что при длительном облучении они подвержены разложению, в результате которого накапливаются водород и свободные радикалы. В результате спонтанных или индуцированных реакций рекомбинаций радикалов и при достаточно большом количестве водорода камера замедлителя может быть повреждена за счет развиваемого внутри давления, что не однажды случалось на источниках. Поэтому изучение материалов, обеспечивающих высокую плотность потока холодных нейтронов, хорошую радиационную стойкость в широком диапазоне температур, а также исследование их рабочих режимов является важной задачей для развития современных источников нейтронов.

Другая важная задача – это моделирование нейтронных источников с оптимизацией параметров и комбинаций холодных и водяных замедлителей, с целью получения наибольших нейтронных потоков с требуемым спектром нейтронов (тепловым, холодным или смешанным) для выведенных пучков. Расширение диапазона длин волн нейтронов источника позволяет концентрировать на выведенных пучках инструменты с мультidisциплинарным набором экспериментальных методик для изучения конденсированных сред. Моделирование водяных замедлителей методом Монте Карло, в отличие от холодных, не вызывает значительных затруднений, поскольку библиотеки сечений входят в стандартный набор библиотек программ для расчета. В тоже время, для ряда материалов при низких температурах ~20-30 К библиотеки сечений либо отсутствуют, поскольку учет всех процессов при низких температурах сложен, либо не до конца апробированы. Поэтому проверка библиотек с данными также является важным этапом, необходимым для корректного моделирования, а многосторонний анализ данных, полученных как в результате моделирования, так и в проведенных экспериментах по изучению радиационной стойкости, позволяет обосновать выбор наиболее подходящего материала для использования в холодных замедлителях.

Помимо выбора твердого водородсодержащего материала, важной задачей является разработка способа его загрузки в камеру замедлителя, охлаждения в процессе работы источника на мощности, разработка и создание контрольно-измерительных систем, обеспечивающих бесперебойную и надежную работу такого типа холодного замедлителя. При разработке нового направления в создании холодных замедлителей нейтронов на основе твердодисперсных водородсодержащих материалов важным этапом является исследование основных свойств (спектра, потока нейтронов, коэффициента усиления потока для нейтронов с большой длиной волны и т.д.), полученных с данным замедлителем, а также анализ результатов.

Решению этих актуальных задач посвящена диссертация С.А. Куликова.

Содержание диссертации изложено в четырех главах, которые имеют логическую связь между собой.

Первая глава посвящена анализу материалов и технологий их применения в холодных замедлителях на источниках нейтронов в мире. Оцениваются основные материалы, используемые для замедления нейтронов в холодных замедлителях, и схемы построения технологических систем, обеспечивающих работу таких замедлителей.

Во второй главе приводятся результаты исследования радиационных свойств нескольких твердых водородсодержащих материалов при низких температурах при облучении их нейтронами и быстрыми электронами. Дается краткое описание установок, на которых выполнены исследования

таких материалов как твердый метан, лед, гидрат метана и тетрагидрофурана, мезитилен и его смесь с м-ксилолом. Делается сравнение данных материалов на предмет накопления водорода, исследуются условия возникновения спонтанных реакций рекомбинаций радикалов, приводятся результаты измерения давления на стенки облучательных камер. Полученные данные уже нашли применение при проектировании замедлителя на основе твердого метана для второй мишени ISIS, RAL, Великобритания.

В третьей главе приводятся результаты выполненных экспериментов, в которых проводилось сравнение водородсодержащих материалов (лед, метан, гидрат метана, водород, мезитилен) при низких температурах (20-30 К) по интенсивности выхода холодных нейтронов из замедлителей на их основе, а также результаты проверки библиотек с сечениями рассеяния нейтронов для водородсодержащих материалов при низких температурах, необходимых для моделирования спектра из холодного замедлителя. Обосновывается применение смеси мезитилена и м-ксилола в твердом состоянии в качестве замедляющего нейтроны материала в широком диапазоне температур. Определены параметры и конфигурация для комбинированного замедлителя с холодным дисперсным замедлителем на основе смеси мезитилена и м-ксилола в его составе для формирования спектров нейтронов с заданными требованиями для шести спектрометров ИЯУ ИБР-2, расположенных на выведенных пучках 7, 8, 10 и 11. Получены, рассчитанные методом Монте Карло, спектры нейтронов и коэффициент увеличения плотности потока нейтронов в зависимости от длины волны нейтронов из холодного замедлителя по отношению к плоскому водяному замедлителю.

В четвертой главе представлены результаты создания комбинированного замедлителя с холодным твердодисперсным замедлителем на основе смеси мезитилена и м-ксилола в его составе и анализ полученных параметров, а также результаты проведенных исследований на полномасштабном испытательном стенде холодного замедлителя, которые позволили разработать и создать безопасный и эффективный холодный замедлитель нейтронов. В частности, приводятся данные по экспериментальному подтверждению возможности загрузки потоком газообразного гелия большого количества шариков по сложному транспортному пути, повторяющему конфигурацию пневмотранспортной линии через биологическую защиту ИЯУ ИБР-2, результаты работы разработанных программно-аппаратных комплексов для контроля параметров испытательного стенда и замедлителя. Приводятся измеренные спектры нейтронов для ряда установок на выведенных пучках, полученный коэффициент усиления в потоке холодных нейтронов в зависимости от длины волны, а также результаты некоторых экспериментов, выполненных с применением нейтронов от разработанного замедлителя.

В заключении приводятся основные результаты, полученные автором и его коллегами по теме диссертации, а также даны рекомендации для использования полученных результатов в разработке и создании замедлителей для других направлений выведенных пучков ИЯУ ИБР-2 и представлены перспективы для развития исследований по теме дисперсных холодных замедлителей.

Из результатов, имеющих научную новизну можно отметить следующие:

- Разработано новое направление в создании холодных замедлителей нейтронов на основе твердых дисперсных водородсодержащих материалов для высокоинтенсивных источников нейтронов.
- Экспериментально исследованы водородсодержащие материалы перспективные для использования в холодных замедлителях нейтронов при низких (20 - 30 К) температурах: радиационная стойкость и радиационные эффекты, возможные рабочие температуры, эффективность замедления нейтронов.
- Впервые использована не взрывоопасная смесь ароматических углеводородов в качестве твердого замедляющего материала для холодного замедлителя нейтронов, позволяющая работать в широком диапазоне температур от 30 до 150 К.
- Впервые разработан и создан холодный замедлитель для ИЯУ ИБР-2 с дисперсным способом загрузки камеры холодного замедлителя. Замедлитель способен непрерывно работать до 10 суток и обеспечивать поток холодных нейтронов $2 \times 10^{12} \text{ н}/(\text{см}^2 \cdot \text{с})$, что дает увеличение потока холодных нейтронов до 13 раз по сравнению с плоским водяным замедлителем комнатной температуры. Показана возможность охлаждения камеры замедлителя тем же холодным гелием, проходящим сквозь загруженные в камеру замедлителя шарики, до температуры 30 К при работающем на мощности 2 МВт реакторе. Разработаны системы контроля загрузки камеры холодного замедлителя.
- Впервые разработан и создан комбинированный замедлитель нейтронов для исследовательской ядерной установки. Его применение дает более гибкий подход к использованию нейтронов ИЯУ ИБР-2. Он позволяет получить необходимый спектр нейтронов на выведенных пучках (тепловых, холодных или смешанных) для новых и модернизируемых спектрометров в зависимости от требований экспериментаторов. Создание комбинированного замедлителя с холодным замедлителем в его составе в ЛНФ ОИЯИ выводит ИЯУ ИБР-2 по своим характеристикам в число лидирующих источников мира, предназначенных для нейтронных исследований конденсированных сред на выведенных пучках.

Следует отметить, что работа прошла широкую апробацию, ее результаты подробно и многократно опубликованы в стране и за рубежом.

В целом, можно сказать, что выполнена очень большая, важная и весьма полезная работа. Необходимо отметить обстоятельство которые придает этой работе особое значение. Она представляет собой не просто некое интересное абстрактное научное исследование, а является работой, которая включает в себе значительный общественно-практический смысл и выполнена в интересах всего нейтронного сообщества, которое работает на модернизированном реакторе ИБР-2.

В качестве замечаний к диссертации можно отметить следующие:

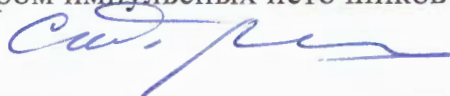
- в отдельных местах диссертации автор слишком углубляется в технические подробности работы;
- на нескольких приведенных в диссертации рисунках не все элементы обозначены и приходится искать о них упоминание в тексте.

Вместе с тем, изложенные замечания не снижают научной ценности и значимости работы. Диссертацию можно охарактеризовать как научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований изложены новое научно-обоснованное направление в развитии холодных замедлителей, имеющее существенную значимость для развития приборов и методов экспериментальной физики, а результаты диссертации уже получили практическое применение. Достоверность выводов, представленных в диссертации, не вызывает сомнений, а результаты могут быть использованы на источниках нейтронов. Содержание диссертации соответствует указанной специальности, автореферат и публикации автора правильно и всецело отражают содержание диссертации. Работа выполнена на высоком научном уровне. Диссертация соответствует требованиям ВАК России, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор Куликов Сергей Александрович, заслуживает присвоения ему степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики.

Отзыв составил:

Заведующий Сектором импульсных источников нейтронов ЛНИ, к.ф.-м.н.

Сидоркин С.Ф.



Отзыв заслушан и утвержден на заседании НТС Лаборатории нейтронных исследований, протокол № 8/17 от 09.12.2017.

Зав. Лабораторией нейтронных исследований,
д.ф.-м.н.



Э.А.Коптелов