

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Куликова Сергея Александровича
«Холодные замедлители нейтронов на основе твердых дисперсных
водородсодержащих материалов»,
представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук
по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики.

Диссертация Куликова С.А. посвящена актуальным проблемам разработки и создания холодных замедлителей нейтронов для высокоинтенсивных нейтронных источников, включающих в себя ядерные реакторы и источники нейтронов на основе ускорителей. Автором разработано *новое направление в создании холодных замедлителей нейтронов на основе твердых дисперсных водородсодержащих материалов*, а также *разработан, создан и внедрен* на исследовательской ядерной установке (ИЯУ) ИБР-2 в Лаборатории нейтронной физики им. И.М. Франка ОИЯИ *первый в мире холодный замедлитель на основе дисперсной не взрывоопасной смеси мезитилена и м-ксилола*. Таким образом, *соискателем решена сложная научно-техническая задача* – разработан и создан холодный дисперсный замедлитель, устройство, функциональные особенности и системы управления которого уникальны и ранее нигде не применялись (на замедлитель и входящий в его состав криогенный дозатор шариков получены патенты на изобретения). Экспериментально показано, что *данный холодный замедлитель увеличивает поток нейтронов с длиной волны более 7-10 Å до 13 раз, может работать в широком диапазоне температур от 30 до 150 К и обеспечивает непрерывную работу на установке ИЯУ ИБР-2 при мощности 2 МВт до 10 суток без замены замедляющего материала*.

Разработан метод получения медленных нейтронов в широком диапазоне длин волн, который применен во впервые созданном комбинированном замедлителе нейтронов для исследовательской ядерной установки. Его применение на 7, 8, 10 и 11 пучках ИЯУ ИБР-2 дает более гибкий подход к использованию нейтронов, т.к. 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 КЗ-202 с холодным замедлителем* в его составе выводит ИЯУ ИБР-2 в число лидирующих источников, предназначенных для нейтронных исследований конденсированных сред на выведенных пучках, что *свидетельствует о высокой значимости для науки и практики полученных автором результатов*.

Достоверность результатов, полученных соискателем, а также положений, выводов и рекомендаций подтверждается опытом эксплуатации комбинированного замедлителя КЗ-202 на реакторе ИБР-2. Косвенно это подтверждается также тем, что в настоящее время комбинированный замедлитель разрабатывается для нового Европейского источника ESS, сооружаемого в Лунде, Швеция. **Эффективность работы** замедлителя КЗ-202 продемонстрирована автором на примере нескольких спектрометров: СКАТ, ЭПСИЛОН, НЕРА, РЕМУР, ГРЕЙНС, ФСД, расположенных на 7, 8, 10 и 11 выведенных пучках реактора.

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждена результатами численного моделирования, исследованиями, практическими разработками отдельных устройств, полномасштабных стендов и действующих установок, включая замедлитель КЗ-202, а также четырехлетним опытом эксплуатации комбинированного замедлителя и научными результатами, полученными экспериментаторами на указанных выше спектрометрах.

Диссертация состоит из Введения, 4-х глав, Заключения и списка используемых источников. Полный объем диссертации составляет 208 страниц и включает в себя 124 рисунка, 15 таблиц и список из 196 библиографических источников.

Во введении рассмотрено современное состояние проблем, связанных с темой диссертации. Обоснована актуальность поставленной задачи, сформулированы цель и научная новизна проводимых исследований. Приведен краткий обзор содержания глав диссертации, представлены выносимые на защиту положения и перечень печатных работ, в которых отражены основные результаты проведенных исследований.

В первой главе содержится обзор и анализ замедляющих нейтроны материалов и технологий их использования в холодных замедлителях на существующих источниках нейтронов. Приведены основные факторы, влияющие на выход холодных нейтронов в источниках и свойства, которыми должны обладать водородсодержащие материалы при низких температурах. Детально проанализированы свойства наиболее перспективных материалов для использования в холодных замедлителях, а именно: жидкого водорода, твердого метана, льда и мезитилена. Рассмотрены три основные схемы построения технологического обеспечения для работы холодных замедлителей с данными материалами, а также выявлены основные проблемы, возникающие при использовании каждого из данных материалов при криогенных температурах и в условиях сильных радиационных полей.

Вторая глава посвящена исследованиям водородсодержащих материалов для холодных замедлителей нейтронов. Представляется анализ данных, полученных в результате проведения экспериментов на установках по изучению радиационных свойств водородсодержащих материалов при криогенных температурах при облучении быстрыми нейтронами, гамма квантами и быстрыми электронами. В результате проведенных экспериментов и анализа получены значения температур при которых водород начинает выходить из материала после облучения, а также получены данные по возможным рабочим температурам для материалов чтобы избежать спонтанных реакций рекомбинаций. Отдельным важным результатом экспериментов стало измерение давления, развивающегося в камере при облучении твердого метана. Результат получил практическое применение при проектировании замедлителя второй мишени источника ISIS (RAL, Великобритания) на твердом метане.

Обнаруженное в экспериментах отсутствие спонтанных реакций рекомбинаций в мезитилена и его смеси с м-ксилолом, а также относительно малая скорость накопления водорода показывают, что данный материал может применяться в холодных замедлителях нейтронов.

В третьей главе приводятся данные экспериментов по изучению эффективности замедления нейтронов до низких энергий водородсодержащими материалами при низких температурах на нескольких экспериментальных установках. Представлены результаты Монте-Карло расчетов комбинированного замедлителя ИЯУ ИБР-2. Конфигурация замедлителя оптимизирована для получения оптимального спектра нейтронов на шести установках на выведенных пучках нейтронов. Показано, что при учете радиационных эффектов, наиболее подходящим материалом для холодного замедлителя ИЯУ ИБР-2, входящего в состав комбинированного, является смесь мезитилена и м-ксилола.

В четвертой главе автор приводит результаты создания, пуска и исследования основных параметров твердодисперсного водородсодержащего холодного замедлителя в составе комбинированного замедлителя 7, 8, 10 и 11 пучков ИЯУ ИБР-2. Начало работы данного замедлителя обеспечило необходимые спектры нейтронов для шести спектрометров, расположенных на выведенных пучках нейтронов ИЯУ ИБР-2 и повысило интенсивность потока холодных нейтронов с длиной волны 8 - 10 Å до 13 раз.

Пуску холодного дисперсного замедлителя на ИЯУ ИБР-2 предшествовали комплекс исследовательских работ по разработке и созданию полномасштабного исследовательского стенда. Проведенные исследования на испытательном стенде экспериментально подтвердили возможность загрузки потоком газообразного гелия большого количества шариков в камеру замедлителя по сложному транспортному пути,

повторяющему конфигурацию пневмотранспортной линии через биологическую защиту ИЯУ ИБР-2

Результаты данной диссертации являются новыми, существенно дополняющими полученные ранее достижения в этой области. В целом, диссертация является завершенной научно-исследовательской работой, вносящей значительный вклад в развитие методов и техники замедления нейтронов. В результате работ автора по созданию замедлителей и получению требуемых спектров тепловых и холодных нейтронов во внешних пучках, значительно расширены возможности уникального комплекса спектрометров ИЯУ ИБР-2, позволяющего ежегодно проводить сотни экспериментов в области физики конденсированного состояния, материаловедения, химии, биологии, геофизики, фармакологии, медицины, экологии и др.

В диссертации содержатся рекомендации по дальнейшему использованию результатов выполненных работ, в частности, – это создание двух комбинированных замедлителей для остальных пучков ИЯУ ИБР-2. Результаты диссертации будут также полезны разработчикам комбинированных замедлителей для источника ESS.

Все полученные в диссертации результаты достаточно полно представлены автором более чем на 30 международных и национальных конференциях и совещаниях, а также отражены в 48 научных публикациях, из которых 22 работы опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК.

Диссертация написана хорошим языком, прекрасно иллюстрирована. Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации.

К недостаткам следует отнести излишнюю детализацию в описании экспериментальных установок. К техническим недостаткам оформления следует отнести заметное количество орфографических и стилистических ошибок и опечаток. Однако, отмеченные недостатки не влияют на высокую положительную оценку представленной диссертации.

Диссертационная работа Куликова С.А. по своей актуальности, объему выполненных исследований и разработок, научной новизне, практической значимости и достоверности полученных результатов свидетельствует о высокой квалификации соискателя и удовлетворяет всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемых ВАК к докторским диссертациям по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики.

Считаю, что автор диссертации «Холодные замедлители нейтронов на основе твердых дисперсных водородсодержащих материалов» Куликов Сергей Александрович

заслуживает присуждения ему искомой ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики.

Главный научный сотрудник ИФТТ РАН,
д.ф.-м.н., профессор



Л.П. Межов-Деглин

Подпись Л.П. Межова-Деглина заверяю,
Ученый секретарь ИФТТ РАН,
доктор физ.-мат. наук



Г.Е. Абросимова