

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 720.001.06
созданного на базе Объединённого института ядерных исследований
(международная межправительственная организация)

по диссертации на соискание учёной степени

кандидата физико-математических наук

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 19 января 2018 г. № 246
о присуждении **Куликову Сергею Александровичу** ученой степени доктор физико-математических наук.

Диссертация «Холодные замедлители нейтронов на основе твердых дисперсных водородсодержащих материалов» в виде рукописи по специальности 01.04.01 - приборы и методы экспериментальной физики повторно принята к защите 6 октября 2017, протокол № 242 диссертационным советом Д720.001.06 на базе международной межправительственной организации Объединённый институт ядерных исследований, 141980, г. Дубна Московской обл., ул. Жолио-Кюри, д. 6.

Соискатель Куликов Сергей Александрович 1977 года рождения диссертацию на соискание ученой степени кандидат физико-математических наук «Оптимизация замедлителей нейтронов для высокопоточных источников» защитил в 2006 году в диссертационным советом Д720.001.06 на базе международной межправительственной организации Объединённый институт ядерных исследований, 141980, г. Дубна Московской обл., ул. Жолио-Кюри, д. 6.

Работает начальником отдела в международной межправительственной организации Объединённый институт ядерных исследований в Лаборатории нейтронной физики им И.М. Франка, 141980 г. Дубна Московской обл. ул. Жолио Кюри, д. 6 с 2000-го года по настоящее время.

Диссертация выполнена в Лаборатории нейтронной физики им И.М. Франка в международной межправительственной организации Объединённый институт ядерных исследований, 141980 г. Дубна Московской обл. ул. Жолио Кюри, д. 6

Официальные оппоненты: Григорьев Сергей Валентинович, доктор физико-математических наук, заместитель директора по международной деятельности ФГБУ "Петербургский институт ядерной физики" НИЦ " Курчатовский институт", Межов-Деглин Леонид Павлович, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики твердого тела Российской академии наук и Несвижевский Валерий Викторович, доктор физико-математических наук, постоянный научный сотрудник Института Лауэ-Ланжевена, Гренобль, Франция, дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерных исследований Российской академии наук в своём положительном заключении (отзыв подготовил Сидоркин С.Ф., кандидат физико-математических наук, заведующий Сектором импульсных источников нейтронов ЛНИ), подписанном заведующим Лабораторией нейтронных исследований, доктором физико-математических наук, Э.А. Коптеловым и утвержденным Директором Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт ядерных исследований Российской академии наук членом корреспондентом РАН Л.В. Кравчуком отметила, что диссертация С.А. Куликова посвящена разработке нового направления в создании холодных замедлителей нейтронов на основе твердых дисперсных водородсодержащих материалов для высокоинтенсивных источников нейтронов. Ввиду малого потока холодных нейтронов в термализованном энергетическом спектре, охлаждение замедляющего вещества замедлителя, является наиболее эффективным способом повышения интенсивности их выхода, тем самым открывая возможность более детального изучения свойств веществ и материалов. Применение водородсодержащих материалов ограничено тем, что при длительном облучении они подвержены разложению, в результате которого накапливаются водород и свободные радикалы. При достаточно большом количестве накапливаемого

водорода в материале, камера замедлителя может быть повреждена за счет развиваемого внутри давления. Поэтому проведенное автором изучение материалов, обеспечивающих высокую плотность потока холодных нейтронов, их радиационную стойкость в широком диапазоне температур, а также исследование их рабочих режимов является важной задачей для развития современных источников нейтронов. Другая важная задача, решённая соискателем, – моделирование нейтронных источников и комбинаций холодных и водяных замедлителей для получения наибольших нейтронных потоков с требуемым спектром нейтронов.

Соискателем разработаны методики загрузки твердого водородсодержащего материала в камеру замедлителя и его охлаждения в процессе работы источника на мощности, созданы контрольно-измерительные системы, обеспечивающие бесперебойную и надежную работу холодного замедлителя.

Результаты работы уже нашли практическое применение при проектировании замедлителя на основе твердого метана для второй мишени ISIS, RAL (Великобритания), они будут использованы при создании следующих двух холодных замедлителей ИЯУ ИБР-2, а также при создании замедлителей в других научных центрах.

Соискатель имеет 48 опубликованных работ по теме диссертации, из которых 22 работы в научных изданиях, рекомендованных ВАК, в том числе цитируемых базами данных Web of Science и Scopus, РИНЦ (19 статей в журналах, 2 патента на изобретение, 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ).

Работы опубликованы в известных журналах с высокими рейтингами. Сведения о публикациях являются достоверными. Суммарный объём публикаций составляет более 300 страниц, во многих статьях соискатель является первым автором.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. E. Shabalin, E. Kulagin, S. Kulikov, V. Melikhov; Experimental study of spontaneous release of accumulated energy in irradiated ices, Radiation Physics and Chemistry, V.67, N 3-4, pp. 315-319, 2003

2. E. Kulagin, S. Kulikov, V. Melikhov, E. Shabalin; Radiation Effects In Cold Moderator Materials: Experimental Study of Accumulation and Release of Chemical Energy, Nuclear Instr. and Methods in Physics Research B, 215, 1-2, pp. 181-186, 2004
3. K. Nuenighoff Ch. Pohl, V. Bollini, A. Bubak, H. Conrad, D. Filges, H. Glueckler, F. Goldenbaum, G. Hansen, B. Lensing, R.-D. Neef, N. Paul, D. Prasuhn, K. Pysz, H. Schaal, H. Soltner, H. Stelzer, H. Tietze-Jaensch, W. Bernnat, J. Keinert, M. Mattes, W. Ninaus, S. Koulikov^[1]_{SEP} et al.; Ice moderator experiments at very low temperatures. The European Physical Journal A, N 22, pp. 519-528, 2004
4. K. Neuninghoff, Ch. Pohl, V. Bollini, A. Bubak, H. Conrad, D. Filges, H. Glueckler, F. Goldenbaum, G. Hansen, B. Lensing, R. Neef, N. Paula, K.Pysz, H.g Schaal, H. Soltner, H. Stelzer, H. Tietze-Jaensch, W. Ninaus, M. Wohlmuther, P. Ferguson, F. Gallmeier, E. Iverson, S. Koulikov, A. Smirnov; Investigations of the neutron performance of a methane hydrate moderator, Nuclear Instr. and Methods in Physics Research A, 562, pp. 565–568, 2006
5. E. Shabalin, A. Fedorov, E. Kulagin, S. Kulikov, V. Melikhov, D. Shabalin; Experimental study of swelling of irradiated solid methane during annealing. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 266, pp. 5126-5131, 2008
6. K. Nuenighoff, Ch. Pohl, S. Koulikov, F. Cantargi, H. Conrad, D. Filges, H. Glueckler, F. Goldenbaum, R. Granada, G. Hansen, T. Matzerath, N. Paul, S. Petriw, H. Schaal, H. Soltner, H. Stelzer, W. Ninaus and M. Wohlmuther; Neutron experiments with cryogenic methane hydrate and mesitylene moderators. European Physical Journal A - Hadrons and Nuclei, 38, pp. 115-123, 2008
7. S. Kulikov, E. Shabalin; New Complex of Moderators for Condensed Matter Research at the IBR-2M Reactor, Romanian Journal of Physics, ISSN:1221-146X, 54, 3-4, pp. 361-367, 2009
8. S. A. Kulikov, I. V. Kalinin, V. M. Morozov, A. G. Novikov, A. V. Puchkov, A. N. Chernikov, E. P. Shabalin; Measurement of Cold Neutron Spectra at a Model of Cryogenic

Moderator of the IBR-2M Reactor. Physics of Particles and Nuclei Letters, Volume 7, Number 1, pp. 57-60, 2010

9. В. Д. Ананьев, А. А. Беляков, А. А. Богдзель, М. В. Булавин, А. Е. Верхоглядов, Е. Н. Кулагин, С. А. Куликов, А. А. Кустов, А. А. Любимцев, К. А. Мухин, Т. Б. Петухова, А. П. Сиротин, А. Н. Федоров, Е. П. Шабалин, Д. Е. Шабалин, В. К. Широков; Испытательный стенд шарикового криогенного замедлителя нейтронов реактора ИБР-2. Приборы и техника эксперимента, №1, стр. 128-134, 2013
10. V. Ananiev, A. Belyakov, M. Bulavin, E. Kulagin, S. Kulikov, K. Mukhin, T. Petukhova, A. Sirotin, D. Shabalin, E. Shabalin, V. Shirokov, A. Verhoglyadov; The world's first pelletized cold neutron moderator at a neutron scattering facility. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B, 320, pp. 70-74, 2014
11. С. В. Кожевников, В. Д. Жакетов, А. В. Петренко, М. В. Булавин, А. Е. Верхоглядов, С. А. Куликов, Е. П. Шабалин; Использование криогенного замедлителя на нейтронном рефлектометре РЕМУР. Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. No 1, стр. 1–11, 2016

Выбор оппонентов и ведущей организации обосновывается известностью их работ в научных кругах, применением в исследованиях наиболее передовых современных методов и технологий.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований разработана новая экспериментальная методика – создание замедлителей на основе твердых дисперсных водородсодержащих материалов (замороженной смеси ароматических углеводородов мезитилена и м-ксилола), позволившая повысить эффективность и точность измерений, а также расширить границы применимости экспериментов по рассеянию нейтронов для изучения белков, полимеров, магнитных материалов, наноструктур, химических реакций в реальном времени и т.д.

Соискателем предложено и обоснованы преимущества замедлителей нейтронов на основе ароматических углеводородов перед твердым метаном, разработана

концепция комбинированных замедлителей для реактора ИБР-2 (холодные в комплексе с водяными замедлителями комнатной температуры), изучены и промоделированы процедуры загрузки и выгрузки шариков замороженной смеси.

Доказана высокая эффективность холодного замедлителя на реакторе ИБР-2 – поток холодных нейтронов увеличен более чем в 10 раз по сравнению с водяным замедлителем в широком диапазоне рабочих температур – от 20 К до 100 К. Экспериментально доказано отсутствие явлений спонтанной рекомбинации радикалов в смеси мезитилена и м-ксилола.

Применительно к проблематике диссертации разработанный метод загрузки дисперсной смеси мезитилена и м-ксилола в камеру холодного замедлителя в виде мелких шариков при низких температурах потоком холодного газообразного гелия, которым и охлаждается вещество замедлителя, бесспорно является удачным и эффективным решением проблемы конструирования замедлителей для высокоинтенсивных источников.

Значение полученных соискателем результатов для практики подтверждается тем, что

- экспериментально исследован на радиационную стойкость весь набор водородсодержащих материалов, перспективных для использования в холодных замедлителях нейтронов при низких (20 - 30 К) температурах,
- предложена невзрывоопасная смесь ароматических углеводородов в качестве замедляющего материала для холодного замедлителя нейтронов, позволяющая работать в широком диапазоне температур от 30 до 150 К,
- разработан и создан холодный замедлитель, способный непрерывно работать до 10 суток и обеспечивать плотность потока холодных нейтронов с длиной волны более 4 ангстрем до 10^{12} н/см²/сек.
- создан комбинированный замедлитель нейтронов для исследовательской ядерной установки ИБР-2, позволяющий получить необходимый спектр нейтронов на выведенных пучках (тепловых, холодных или смешанных) для

новых и модернизируемых спектрометров в зависимости от требований экспериментаторов.

Оценка достоверности исследования была проверена путем сравнения полученных соискателем результатов с экспериментальными данными, а также с независимыми источниками, принятыми в сообществе. Результаты работы опубликованы в ведущих отечественных и зарубежных журналах, входящих в список ВАК, докладывались на более 30 национальных и международных конференциях, а также на семинарах в нескольких Лабораториях в мире и хорошо известны специалистам в данной отрасли.

Результаты исследований и разработок уже нашли применение при проектировании замедлителя на основе твердого метана для второй мишени ISIS, RAL (Великобритания), будут использованы при создании следующих двух холодных замедлителей ИЯУ ИБР-2 и замедлителя для источника SINQ, PSI (Швейцария), а также в других научных центрах.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в разработке и создании концепции и технического решения комплекса комбинированных замедлителей нейтронов модернизированной ИЯУ ИБР-2 для изучения конденсированных сред на выведенных пучках. Им лично проведено Монте-Карло моделирование комбинированных замедлителей нейтронов ИЯУ ИБР-2 и произведены расчеты тепловой нагрузки на холодные замедлители нейтронов. Полученные результаты легли в основу технического задания на проектирование комплекса замедлителей ИЯУ ИБР-2. Автор участвовал в экспериментах, численном моделировании, обработке и интерпретации экспериментальных данных по исследованию замедляющей способности различных материалов при варьировании температуры и апробации созданных библиотек с сечениями рассеяния нейтронов в водородсодержащих материалах при низких температурах на установке JESSICA (Германия); в постановке экспериментов, разработке и создании двух экспериментальных устано-

вок УРАМ на реакторе ИБР-2, облучательной установки на микротроне МТ-25, проведении экспериментов, обработке и интерпретации данных по изучению радиационной стойкости водородсодержащих твердых материалов, перспективных для холодных замедлителей нейтронов. При непосредственном участии автора осуществлено проектирование основных узлов полномасштабного экспериментального стенда холодного замедлителя ИЯУ ИБР-2; разработаны и созданы системы контроля параметров и процесса загрузки шарикового холодного замедлителя; на ИЯУ ИБР-2 запущен в опытную эксплуатацию комбинированный замедлитель нейтронов с холодным шариковым замедлителем в его составе и исследованы его свойства. Автор принимал активное участие в международном сотрудничестве по проектам создания перспективных замедлителей нейтронов для высокоинтенсивных источников нейтронов, а также в публикациях по работе, в подготовке которых внес определяющий вклад.

На заседании 19 января 2018 года диссертационный совет принял решение присудить Куликову С.А. учёную степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 21 человек, из них 7 докторов наук по профилю рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 25 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение ученой степени 21, против присуждения ученой степени - нет, недействительных бюллетеней нет.

Дата оформления заключения 22 января 2018 года

Председатель диссертационного совета,
Академик РАН

Ю.Ц. Оганесян

Ученый секретарь
диссертационного совета



А.Г. Попеко