

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию и автореферат

Мухина Константина Александровича

«Источник холодных нейтронов реактора ИБР-2 на основе дисперсного мезитилена с системой охлаждения», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики

Актуальность выбранной автором темы не вызывает сомнений. Современные технологии требуют детального изучения наноструктур, изменений свойств и положений атомов в веществах под воздействием высокого давления, экстремально низких или высоких температур в режиме on-line, изучения химических реакций в твердой фазе, исследования структуры биологических объектов, полимеров, магнитных материалов и т.д. Холодные нейтроны наиболее подходят для проведения таких экспериментов, т.к. при снижении их энергии, волновая составляющая растет. Такие нейтроны уже могут «видеть» не только отдельные атомы, но и целые их конгломерации, большие молекулы и молекулярные образования. Применение специальных устройств, называемых холодными замедлителями, позволяет многократно увеличить интенсивность выхода холодных нейтронов от реакторов или источников на основе реакции spallation. Оптимизация геометрических размеров, расположения криогенной и водяных камер, позволяет получить высокоинтенсивный источник, генерирующий нейтроны определённой длины волны для каждого конкретного физического инструмента. Создание таких индивидуальных замедлителей повышает количественные и качественные характеристики спектрометров и позволяет проводить исследования в области больших d_{hkl} с хорошим разрешением.

Автором справедливо отмечается, что в настоящее время в мире действует 15 высокоинтенсивных источников холодных нейтронов, 7 из них в Европе, 4 в США, 2 в Японии, 1 в Австралии и 1 в России. Единственный действующий источник на территории Российской Федерации – это первая очередь проекта источника холодных нейтронов реактора ИБР-2, введенная в опытную эксплуатацию в 2012 году. Завершение проекта ИХН реактора ИБР-2, ввод в эксплуатацию реактора ПИК (Гатчина), позволит получить в России современный парк спектрометров для изучения свойств современных материалов и биологических объектов на высоком уровне и с хорошей точностью.

Уникальностью проведенной работы не только в рамках диссертации, но и в реализации проекта, является применение нового принципа работы холодного источника, заключающегося в применении смеси ароматических углеводородов в твердой фазе в форме шариков, которые доставляются в камеру замедлителя потоком гелия по транспортному трубопроводу сложной конфигурации при криогенных температурах.

Сформулированные задачи, которые решал автор в рамках своей работы, состояли в разработке методики для проверки возможности загрузки шариков выбранным принципом в камеру замедлителя по криогенному трубопроводу с критическим участком подъема длиной 3 метра и углом подъема 52° , определении оптимальных параметров работы систем для стабильной загрузки без заторов и существенного разрушения шариков. Также автором было изобретено разъемное соединение криогенных трубопроводов транспортировки шариков и обратного потока гелия с замедлителем, которое позволило проводить замену замедлителя за короткое время и без применения механических машин и сварки. Важно отметить, что перегрузка замедлителя проводится в зоне специального допуска, а сам замедлитель и окружающее оборудование имеют высокую наведенную активность, поэтому сокращение времени замены замедлителя существенно снижает радиационную нагрузку на обслуживающий персонал. Кроме этого, появилась возможность оперативно, между циклами работы реактора, проводить замену комбинированного замедлителя на водяной в случае необходимости (по требованию экспериментатора), получая при этом наиболее подходящий спектр нейтронного потока на образце. Особо стоит обратить внимание, что автор, отталкиваясь от своей задачи, уделяет большое внимание системе охлаждения источника и создает систему с возможностью получить индивидуальный температурный режим в каждом отдельном замедлителе в широком диапазоне. Это очень важно, т.к. вклад температурной составляющей в выход холодных нейтронов с поверхности замедлителя может достигать шестикратной величины, а изменение температуры ведет к смещению пика нейтронного потока в область больших или меньших длин волн, делая источник наиболее «гибким» и легко адаптируемым под конкретные физические эксперименты.

Во введении представлена актуальность, научная новизна и практическая значимость работы, проведен литературный обзор и анализ принципов работы источников холодных нейтронов в мире, рассматривается проект источника холодных нейтронов для реактора ИБР-2, приводятся данные по наиболее оптимальным спектрам нейтронного потока для каждой физической установки, сформулирована цель, поставлены задачи работы и представлены положения, выносимые на защиту.

Первая глава представляет собой анализ различных веществ – замедлителей, приводятся их недостатки и преимущества. На основании конкретной задачи, учитывая особенности конструкции, периодичность работы и радиационные поля реактора ИБР-2, геометрическое расположение выведенных пучков относительно активной зоны реактора, имеющееся технологическое оборудование, автор обоснует выбор в качестве рабочего вещества замедлителя ароматические углеводороды (мезитилен в смеси с метаксилолом) в

твердой фазе в форме шариков. Загружать шарики в камеру замедлителя автор предлагает при помощи газообразного гелия по транспортному трубопроводу при криогенных температурах.

Во второй главе речь идет об устройстве изготовления и сепарации шариков из рабочей смеси. Изучается процесс движения шариков на лабораторных стендах и на полномасштабной модели комбинированного замедлителя первой очереди при криогенных температурах. На основании этих исследований автор получил результаты и определил оптимальные параметры работы устройств, для загрузки шариков без прилипания, существенного разрушения и заторов. Кроме этого, на полномасштабном макете замедлителя в качестве транспортного трубопровода были разработаны и испытаны специальные криогенные трубопроводы, не имеющие сильфонных узлов, а компенсация изменения линейных размеров происходила за счет движения внутреннего трубопровода относительно наружного на поворотах за счет большой разницы в их диаметрах. Для облегчения скольжения были разработаны и применены специальные «скользящие» опоры внутреннего трубопровода. В результате полученных данных и убедившись в надежности выбранного метода загрузки шариков в камеру замедлителя, был создан первый в мире шариковый замедлитель нейтронов для каналов 7, 8, 10, 11 реактора ИБР-2. На спектрометре РЕМУР и дифрактометре СКАТ было показано увеличение нейтронного потока в длинноволновой области более чем в 4 раза, а доступный диапазон длин волн расширился до 16 Å.

Главу три автор посвящает детальному разбору создания замедлителя для пучков 1, 4, 5, 6, 9 реактора ИБР-2 начиная от математического моделирования и выбора оптимальной конфигурации головной части замедлителя и заканчивая созданием реального замедлителя. Следует отметить, что автор учитывает особенности каждого пучка, а также возможность оперативной замены комбинированного замедлителя на водяной в случае необходимости получить высокоинтенсивный пучок тепловых нейтронов. Для выполнения этой задачи автором изобретено специальное разъемное криогенное соединение. Важной особенностью соединений является пониженный теплоприток, отсутствие тепловых мостов и гибких участков, которые могут внести изменения в траекторию движения шариков при загрузке. Учитывая особенности расположения комбинированного замедлителя КЗ 201 относительно активной зоны реактора, вероятнее всего без изобретения таких соединений создание и замена замедлителя (как и работа в штатном режиме) была бы невозможна. На полномасштабном стенде КЗ 201, автор получил новые физико-технические данные, обеспечивающие загрузку шариков без заторов, слипания или разрушения по трубопроводу с затяжными подъемами и поворотами до 90°.

Четвертая глава работы описывает режимы работы комбинированного замедлителя, который может работать либо в режиме водяного замедлителя, получая повышенный поток тепловых нейтронов, либо в режиме криогенного замедлителя, при котором камера заполняется рабочим веществом, и нейтроны термализуются до холодной области. Система охлаждения комплекса замедлителей, включает в себя водяную и криогенную части. Принимая во внимание специфику работы комбинированных замедлителей, криогенная система охлаждения – это сложная инженерно-техническая система, разрабатываемая индивидуально. Автор, учитывая потребности в различных спектрах нейтронного потока для тех или других экспериментов, разработал и запустил в эксплуатацию криогенную систему, позволяющую менять температуру в камере замедлителя от 20 К до 150 К, формируя наиболее предпочтительный нейтронный спектр и получать индивидуальные температуры в каждом из замедлителей, что придает источнику универсальности. Надежность работы криогенной системы обеспечена возможностью резервирования рефрижераторных установок – это дает возможность выполнить обязательства перед пользователями, даже в случае выхода одной из них из строя. Новая криогенная система начала свою работу в 2017 году. За это время был проведен целый цикл экспериментов, нацеленный на уточнение нейтронно-физических характеристик источника, оптимизирована работа технологического оборудования комплекса. В результате, снижения температуры в криогенной камере на 10 К (с 32 К до 22 К) удалось выйти на проектные параметры работы замедлителя, а фактор выигрыша в области холодных нейтронов составил до 22 %.

В заключении автор кратко формулирует основные результаты, полученные в работе.

Стоит отметить, что работа написана хорошим русским языком, на высоком техническом уровне, логична по своей структуре, после каждой главы приведены выводы, а полученные параметры работы оборудования и новые разработки позволяют без дополнительных исследований закончить работу по созданию источника холодных нейтронов на основе дисперсного мезитилена для реактора ИБР-2. Патенты, полученные автором, статьи, выступления на многочисленных российских и зарубежных конференциях, участие в технических совещаниях МАГАТЭ по тематике работы, успешная эксплуатация первой очереди источника подтверждают достоверность и актуальность полученных данных.

В тоже время в тексте диссертации присутствуют некоторые орфографические и пунктуационные ошибки и опечатки. К техническим недостаткам можно отнести не очень хорошее качество рисунков 3 и 4, на части рисунков подписи по осям, а также названия на

схемах не переведены на русский язык. В тексте работы автор, оценивает длину волны в Å , а в таблице 1 переходит на нм , что немного осложняет первое восприятие, было бы логично выбрать одну единицу измерения. Автор довольно подробно описывает все технические особенности работы оборудования и физические принципы (к примеру, принцип работы трубки Пито), которые не являются новыми или уникальными. Такие подробности и общеизвестные факты можно было бы опустить, сократив объем работы, что не уменьшает её значимости.

В качестве рекомендации, хочется пожелать автору продолжить работу в направлении (как он сам отмечает) создания дисперсного источника нейтронов с постоянно или периодически сменяемым веществом в камере замедлителя по идее Бауэра. Следует попробовать разработать устройство изготовления метановых шариков, а также подумать над возможными добавками для снижения вязкости исходных углеводородов под облучением. Разработанное автором криогенное соединение универсально, может быть востребовано не только для шарикового замедлителя, но и при транспортировке любых других веществ при криогенных температурах, а сниженный теплоприток в месте стыковки уменьшит их потери. Предложенная и реализованная автором идея менять температуру рабочего вещества в камере замедлителя, смещая пик нейтронного потока в область больших или меньших длин волн, существенно оптимизирует работу физических инструментов, делая источник «гибким» и легко адаптируемым к различным экспериментам.

В заключение следует отметить, что соискателем проведена огромная работа на высоком уровне. Предложенные технические решения и проведенные исследования позволили создать на реакторе ИБР-2 источник холодных нейтронов, который является универсальным и покрывает широкий круг физических задач по исследованию различных веществ и материалов. Из текста работы можно понять, что проект создания источника – это большая работа, которая выполняется группой людей, отвечающих за своё направление. Однако, вполне понятно, что вклад автора в технику проведения экспериментов, обработку результатов, определение оптимальных режимов работы оборудования, разработку, тестирование и внедрение новых технических устройств был определяющим, а отмеченные недостатки не влияют на ценность проведенной работы и качество полученных результатов.

Результаты, входящие в диссертационную работу опубликованы в 22 печатных работах, из которых 7 статей входят в перечень ВАК, новые разработки защищены 2 патентами.

Научная новизна и практическая значимость подтверждается реальными результатами, полученными на установках РЕМУР, НЕРА и СКАТ реактора ИБР-2. Личное и определяющее участие автора, в этой части проекта не вызывает сомнений, т.к. текст диссертации изобилует техническими подробностями каждого этапа и проведенного эксперимента. Автореферат полностью отражает суть работы и содержит исчерпывающие выводы.

Принимая во внимание все вышесказанное, считаю, что работа Мухина К.А. выполнена на высоком научно-техническом уровне, является законченным исследованием, полностью удовлетворяет требованиям, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата наук, а её автор, безусловно, заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики.

Официальный оппонент,
кандидат физико-математических наук,
ведущий сотрудник,
и.о. зав. сектором импульсных источников нейтронов

Лаборатории нейтронных исследований
ФГБУН Института ядерных исследований РАН

Сидоркин С.Ф.

Почтовый адрес:

117312, Москва, в-312,
проспект 60-летия Октября, 7а
тел.: (499) 135-77-60, (495) 851-00-71
факс: (499) 135-22-68
e-mail: sidorkin@inr.ru

Подпись С.Ф. Сидоркина удостоверяю
Зам. директора ИЯИ РАН

А.В. Фещенко

