

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.

Представленная на защиту работа посвящена созданию на исследовательском реакторе ИБР-2 комплекса замедлителей, обеспечивающих экспериментальные установки на выведенных пучках оптимальным нейтронным спектром. Принимая во внимание, что на поверхность одного замедлителя, под разными углами, направлены оси 5 физических инструментов, было необходимо спроектировать и создать биспектральный замедлитель имеющий, тепловую и криогенную камеры, для формирования высокоинтенсивного пучка нейтронов в широком диапазоне длин волн, от 0,4 до 10-15Å.

Актуальность работы определяется высокой востребованностью тепловых и холодных нейтронов для проведения широкого круга исследований и решения как фундаментальных научных задач, так и проблем прикладного характера. Наряду с такими уникальными свойствами нейтрона как отсутствие заряда, наличие магнитного момента, возможностью исследования легких элементов и т.д., переменность энергии нейтрона обеспечивает контролируемое изменение его длины волны. Нейтроны с длиной волны более 4 Å предпочтительны в исследованиях нано- и микроструктур на дифрактометрах и спектрометрах, на рефлектометрах, установках малоуглового рассеяния нейтронов и нейтронных спин-эхо установках при изучении магнитных свойств веществ, фазовых переходов, количественном фазовом анализе. К тому же, нейтрон и сам интересен как объект исследования. Чтобы проводить эти исследования с максимальной эффективностью, необходим надежный источник холодных нейтронов с высокой интенсивностью и в широком диапазоне длин волн.

Исходя из особенностей реактора ИБР-2 автор, в качестве вещества – замедлителя, выбирает смесь мезитилена с метаксилолом в твердой фазе в форме шариков, а принципом доставки шариков в камеру замедлителя принимает метод пневмотранспортировки потоком газообразного гелия при криогенных температурах. Сложность состоит в том, что сама методика движения единичного макроскопического объекта в трубе в примерном соотношении размеров шара и диаметра трубы равной $\frac{1}{4}$, да еще и при криогенной температуре до этого была практически не изучена и не представлена в литературе. При создании замедлителей авторам проекта пришлось с нуля пройти весь путь от изучения движения шариков и доказательства применимости выбранного метода до создания всей инфраструктуры, методик, технологического оборудования и инженерной инфраструктуры. Таким образом, перед коллективом стояла невероятно трудная задача создания первого в мире дисперсного холодного источника на уже действующей установке ИБР-2 с имеющейся периферией. Автор принимал участие во всех работах, проводил эксперименты, анализировал полученные результаты, делал выводы и писал статьи. Определяющей же была роль автора в работах по изучению и анализу движения шарика на лабораторных и полномасштабных стендах замедлителей. В качестве представителя от ОИЯИ работал с подрядными организациями над сборкой и испытаниями первого полномасштабного макета и реального замедлителя. Автор лично проводил теплофизические расчеты, принимал непосредственное участие в создании полномасштабных испытательных стендов, проводил эксперименты по выбору оптимальных режимов работы оборудования для доставки шариков по сложному трубопроводу с критическим углом наклона 52° и поворотами до 100° , разработал и внедрил специальные фланцевые криогенные соединения, которые не вносят корректировок в траекторию движения шарика, разработал новую криогенную систему, позволяющую получать индивидуальную температуру в каждом из замедлителей в широком диапазоне. Оптимизация некоторых узлов, при этом, привела к снижению температуры в криогенной камере на 10 К, а поток нейтронов в области 7 \AA вырос на 22 %. Все эти разработки, испытания и полученные параметры позволяют закончить создание источника холодных нейтронов на реакторе ИБР-2 на основе дисперсного мезитилена без дополнительных исследований. Стоит отметить, что из двух десятков действующих

холодных источников в мире, в России в настоящее время есть только один такой источник – это источник, описанный в работе.

Рассматриваемая диссертационная работа состоит из введения, 4-х глав, заключения и библиографического списка. После каждой главы автор делает выводы. На основании результатов работы опубликованы 22 научных труда, 7 из которых входит в перечень цитирования ВАК. Получены 2 патента.

Во введении описывается актуальность выбранной работы, приводится описание источника холодных нейтронов для ИБР-2 в общих чертах, анализируется оптимальный спектр нейтронного потока для установок замедлителя «центрального» направления, ставится цель и задачи работы, представляются положения, которые автор выносит на защиту.

Первая глава посвящена анализу и выбору рабочего вещества замедлителя. По различным характеристикам сравниваются водород, дейтерий, метан и мезитилен, который и выбирается в качестве основного компонента. Также в главе описывается интересный опыт эксплуатации твердометанового замедлителя на ИБР-2 и экспериментов, которые были проведены с его применением на дифрактометрах ФДВР и ДН-2. Эксперименты показали качественные и количественные улучшения при использовании холодных нейтронов, выразившиеся в расширении доступного диапазона измерений с высоким качеством и увеличении нейтронного потока на образце за счет почти полного пропускания пучка в изогнутом зеркальном нейтронноводе. В конце главы автор описывает принципиальную схему работы холодных замедлителей.

Вторая глава посвящена исследованиям различных характеристик и зависимостей движения одиночного и группы шариков на лабораторных стендах и полномасштабном макете комбинированного замедлителя КЗ 202. Здесь автор довольно подробно описывает устройство изготовления и сепарации шариков, узлы специального трубопровода подачи шариков с естественной компенсацией линейных расширений материала, опыт эксплуатации КЗ 202 на физический эксперимент и улучшений, которых удалось добиться на установках СКАТ и РЕМУР при его использовании.

В третьей главе подробно описывается процесс создания замедлителя КЗ 201 «центрального» направления для пучков 1, 4, 5, 6, 9 ИБР-2. Именно на этом

направлении и был в свое время установлен метановый замедлитель. Выбранная автором очередность этапов справедлива для любого источника холодных нейтронов и вкратце сводится к моделированию оптимальной конфигурации, теплофизическому расчету, разработке, подбору и испытаниям оборудования, получению необходимых экспериментальных данных, внедрению источника. Начиная с первого шага (моделирование), из учета потребностей физических инструментов была выбрана модель головной части замедлителя, наиболее удовлетворяющая с точки зрения нейтронно-физических характеристик, возможности изготовления и безопасной эксплуатации. Далее, опираясь на эксперименты, показавшие большой разброс зависимости скорости шарика от скорости газа (до 50%), опыт эксплуатации КЗ 202, принципиально другую геометрию пневмотрассы, включающую в себя крутые продолжительные подъемы и повороты, автор справедливо замечает, что необходимо подтвердить состоятельность метода пневмотранспортировки шариков и оптимизировать параметры для их загрузки с учетом имеющихся изменений. Автором и его группой (уже без привлечения подрядчиков) создается новый полномасштабный стенд, полностью повторяющий геометрию пневмотрассы реального замедлителя КЗ 201, на котором отрабатываются все режимы его работы, проводится отладка оборудования и определяются оптимальные параметры для загрузки шариков без заторов, слипания и разрушения. В этой же главе автор описывает принцип работы всех основных устройств, применяемых на замедлителях для контроля его работы и предупреждения аварийных ситуаций. В работе, справедливо уделяется много времени устройствам соединения замедлителя с инженерными коммуникациями, без которых замедлитель не может функционировать и будет бесполезен. Среди этих устройств и оригинальный способ вывода термопар, устройство порционной подачи шариков в пневмопровод и специально разработанные для шарикового холодного замедлителя, криогенные разъемные соединения, позволяющие оперативно привести перегрузку замедлителя на водяной или другой криогенный в случае необходимости. Стоит отметить, что применение таких соединений сокращает время замены замедлителя, а это, в свою очередь, приводит к снижению радиационной нагрузки на эксплуатирующий персонал.

В четвертой главе рассматриваются доступные режимы работы комплекса замедлителей и его система охлаждения. Примечательно, что все замедлители могут работать в режиме водяного замедлителя, при котором криогенная камера пуста, а замедление нейтронов происходит в камере предзамедлителя на дистиллированной воде и в режиме криогенного замедлителя, когда криогенная камера заполнена рабочим веществом. Эти два режима могут выбираться в зависимости от требования экспериментатора по энергии нейтронного потока. Такая возможность очень важна и делает источник адаптируемым и дружелюбным для пользователей. И если в водяной части системы охлаждения примечательного немного, то разработанная автором криогенная система достойна более пристального внимания. Понимая, что изменение температуры рабочего вещества приведет к смещению пика нейтронного потока в область больших (снижение температуры) или меньших (повышение температуры) длин волн, а это сделает источник еще более привлекательным и «гибким» для экспериментаторов, автор глубоко модернизирует криогенную часть системы охлаждения, и ему удастся оптимизировать работу узлов таким образом, что можно менять температуру в камере каждого из замедлителей независимо, в диапазоне от 20 К до 150 К. Кроме этого, минимально достижимая температура в камере замедлителя снижается на 10 К и достигает проектных параметров в 22 К, а зафиксированный прирост в области холодных нейтронов на установках СКАТ, РЕМУР и НЕРА составил до 22 %.

В заключении автор кратко формулирует основные выводы, сделанные по работе.

Диссертационная работа логично структурирована, написана простым русским языком, хорошо иллюстрирована, но и не лишена некоторого количества орфографических и пунктуационных ошибок.

- 1) К техническим огрехам можно отнести плохое качество некоторых рисунков во введении и первой главе, очевидно это произошло при сканировании или выборе данных рисунков из сторонних источников.
- 2) К неточностям можно отнести утверждение на стр. 25, что во Франции 1 источник холодных нейтронов, хотя 2 таких источника находятся в ИЛЛ, и 1 источник – в ЛЛБ. В сумме во Франции их – 3.
- 3) Бросается в глаза опечатка в названии Главы 2 в слове «НАПРАВЛЕНИЕ»

- 4) На странице 86 был сделан вывод, что «узел ввода термопар герметичен». Однако не говорится при каких температурах проводились испытания: только при комнатной температуре или во всем диапазоне температур от 20 К до 300 К?
- 5) На странице 89 дается ссылка [74], хотя ссылка явно сделана на работу [73].
- 6) На странице 145 в список литературы между работами [72] и [73] вкралась странная ссылка за номером [23].

Тем не менее, указанные огехи и ошибки не носят принципиального характера, и в целом работа читается «на одном дыхании».


Как и должно, техническая работа содержит подробное описание принципов работы разработанного и внедренного, применяемого оборудования. Отдельные результаты и этапы работы регулярно докладывались на многочисленных конференциях и семинарах. Достоверность и практическая значимость представленных результатов, опубликованных работах и частично запатентованных, не вызывает сомнений и выражается в успешной эксплуатации первой очереди источника с 2012 года, а новой криогенной системы с 2017 года. Многочисленные технические подробности, представленные в работе, позволяют уверенно сказать, что автор отлично разбирается в защищаемой работе, и несомненно выполнял определяющую роль в технической части проекта. Автореферат полностью отражает основное содержание и выводы квалификационной работы.

В заключение хочу посоветовать автору продолжить разработку источника холодных нейтронов для ИБР-2. Автору, возможно, стоит обратить внимание на разработку замедлителей для компактных источников нейтронов и инфраструктуры к ним.

По итогам вышеизложенного считаю, что диссертационная работа Мухина Константина Александровича «Источник холодных нейтронов для реактора ИБР-2 с системой охлаждения» выполнена на высоком научно-техническом уровне, полностью удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата наук по п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», ее автор является высококвалифицированным

специалистом и несомненно заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики.

Официальный оппонент,
доктор физико-математических наук,
профессор, зам. директора по международной деятельности
ФГБУ «Петербургский институт ядерной физики
им. Б.П. Константинова»
НИЦ «Курчатовский институт»



С.В. Григорьев

Почтовый адрес:
188300, Ленинградская обл.,
г. Гатчина, мкр. Орлова Роща, д. 1,
тел.: (81371) 4-65-61,
e-mail: grigoryev_sv@pnpi.nrcki.ru

Ученый секретарь
ФГБУ «Петербургский институт ядерной физики
им. Б.П. Константинова»
НИЦ «Курчатовский институт»
кандидат физ.-мат. наук



С.И. Воробьев