

СТЕНОГРАММА

заседания № 19-05 диссертационного совета Д 720.001.02 на базе Международной межправительственной организации Объединенный институт ядерных исследований от 16 мая 2019 г.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ диссертационного совета - доктор физико-математических наук, профессор Малахов Александр Иванович.

УЧЁНЫЙ СЕКРЕТАРЬ диссертационного совета - кандидат физико-математических наук Арефьев Валентин Александрович.

На заседании присутствовали члены диссертационного совета:

Специальность 01.04.01 - Приборы и методы экспериментальной физики, физико-математические науки:

| | |
|--------------------------------|--|
| Водопьянов Александр Сергеевич | - доктор физико-математических наук |
| Глаголев Виктор Викторович | - доктор физико-математических наук |
| Мелкумов Георгий Леонович | - доктор физико-математических наук |
| Никитин Владимир Алексеевич | - доктор физико-математических наук |
| Садовский Сергей Анатольевич | - доктор физико-математических наук |
| Таратин Александр Михайлович | - доктор физико-математических наук |
| Тяпкин Игорь Алексеевич | - доктор физико-математических наук |
| Ужинский Владимир Витальевич | - доктор физико-математических наук |
| Арефьев Валентин Александрович | - кандидат физико-математических наук. |

Специальность 01.04.01 - Приборы и методы экспериментальной физики, технические науки:

| | |
|-----------------------------------|-------------------------------------|
| Калинников Владимир Александрович | - доктор технических наук |
| Матюшин Валентин Тарасович | - доктор физико-математических наук |
| Романов Юрий Иванович | - доктор технических наук |
| Смирнов Виталий Анатольевич | - доктор технических наук |
| Тимошенко Геннадий Николаевич | - доктор физико-математических наук |
| Тютюнников Сергей Иванович | - доктор технических наук |

Специальность 01.04.16 - физика атомного ядра и элементарных частиц, физико-математические науки:

| | |
|---------------------------------|-------------------------------------|
| Батюня Борис Владимирович | - доктор физико-математических наук |
| Капишин Михаил Николаевич | - доктор физико-математических наук |
| Мадигожин Дмитрий Турыскалиевич | - доктор физико-математических наук |
| Малахов Александр Иванович | - доктор физико-математических наук |
| Панебратцев Юрий Анатольевич | - доктор физико-математических наук |
| Строковский Евгений Афанасьевич | - доктор физико-математических наук |

Специальность 01.04.20 - физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника, технические науки:

| | |
|--------------------------------|-------------------------------------|
| Агапов Николай Николаевич | - доктор технических наук |
| Коваленко Александр Дмитриевич | - доктор физико-математических наук |
| Костромин Сергей Александрович | - доктор физико-математических наук |
| Ширков Григорий Дмитриевич | - доктор физико-математических наук |

Малахов А.И.: Начинаем наше заседание. Перед началом заседания всем членам совета мы раздали заключение совета, просьба в течение заседания познакомиться с ним и если есть замечания сделать их. Согласно регламента, я должен объявить, что кворум у нас есть 25 членов совета присутствуют, при минимуме 21, по специальности 6 докторов при минимуме 3. Объявляется защита диссертации по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики на соискание ученой степени кандидата технических наук. Защищает Мухин Константин Александрович. Название «Источник холодных нейтронов для реактора ИБР-2 на основе дисперсного мезитилена с системой охлаждения». Научный руководитель Агапов Николай Николаевич – доктор технических наук, главный инженер ЛФВЭ, здесь присутствующий. Официальные оппоненты: Сидоркин Станислав Федорович – кандидат физ-мат. наук и.о. зав сектора импульсных источников нейтронов лаборатории нейтронных исследований ИЯИ РАН, затем Григорьев Сергей Валентинович – доктор физ-мат. наук, профессор зам. директора по международной деятельности ПИЯФ им. Константинова НИЦ КИ на заседании присутствуют. Ведущая организация Научно-исследовательский и конструкторский институт энерготехники им. Н.А. Доллежала (НИКИЭТ). С остальными документами нас познакомит секретарь совета.

Арефьев В.А.: Заявление. Прошу принять к рассмотрению и защите мою диссертацию на тему «Источник холодных нейтронов для реактора ИБР-2 на основе дисперсного мезитилена с системой охлаждения» на соискание ученой степени кандидат технических наук по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики. Защита работы проводится впервые. Согласен на включение моих персональных данных в аттестационное дело и дальнейшую обработку. Подтверждаю, что все представляемые к защите данные и результаты являются подлинными и оригинальными и кроме специально оговоренных случаев получены мною лично. Назначенная комиссия диссертационного совета в составе Никитин, Смирнов Арефьев рассмотрела представленные автором документы и пришла к заключению, что диссертация соответствует, заявленной специальности, документы удовлетворяют требованиям, достаточно полно опубликована в литературе и рекомендуется принять диссертацию к защите. Диссертация была принята к защите 20 декабря 2018 года. Мухин Константин Александрович 23 января 1985 года рождения, место рождения город Тула, гражданство Российская Федерация, образование высшее профессиональное, в 2007 году закончил ТулГУ, получил диплом квалификации инженер-физик. Владеет английским языком свободно, немецким со словарем, ученых степеней и званий пока нет, 20 публикаций, 2 патента на изобретения. В настоящее время работает начальником группы вакуумного и криогенного оборудова-

ния реактора ИБР-2 и установки ИРЕН в Лаборатории нейтронной физики. Имеется заключение НТС ЛНФ, отзывы оппонентов и ведущей организации, копия диплома ТулГУ, справка об обучении в аспирантуре с 2009 по 2012 год. Обучался в аспирантуре ОИЯИ по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики. За время обучения сдал экзамены по специальности, истории и философии науки, английскому языку. Все на отлично. Все документы соответствуют «Положению о порядке присуждения ученых степеней».

Малахов А.И.: Спасибо, Валентин Александрович. Вопросы к документам есть? Нет. Тогда мы предоставляем слово соискателю. Пожалуйста, Константин Александрович изложите нам суть.

Мухин К.А.: Уважаемы члены совета, председатель, коллеги и гости. Работа моя называется «Источник холодных нейтронов для реактора ИБР-2 на основе дисперсного мезитилена с системой охлаждения». Работа будет состоять из четырех частей. В первой я расскажу об источнике холодных нейтронов, поставлю цели и задачи работы. Во второй части я расскажу об этапах создания второй очереди этого источника – комбинированном замедлителе в направлении экспериментальных пучков 1, 4, 5, 6, 9. В третьей расскажу о системе охлаждения всего комплекса замедлителей и в четвертой сделаю основные выводы по работе. Итак, источник холодных нейтронов реактора ИБР-2, цели и задачи работы.

Источник холодных нейтронов реактора ИБР-2 подразумевает три комбинированных замедлителя окружающих активную зону реактора и формирующих оптимальный спектр нейтронного потока на инструментах, установленных на выведенных пучках реактора. В качестве замедляющего вещества был выбран мезитилен в смеси с метаксилолом в форме шариков в твердой фазе. Выбор мезитилена основывался на том, что он хороший замедлитель. Он стоит на второй строчке после метана, кроме того он хорошо сопротивляется радиации, в нем отсутствуют процессы рекомбинации, т.е. самопроизвольного, локального повышения температуры, что может нарушить спектр нейтронного потока. Также он технологичен, при комнатной температуре он находится в жидкой фазе из него довольно легко можно делать шарики, температура плавления 227 К, что позволяет использовать его в широком диапазоне температур, он находится в твердой фазе и меняя температуру в камере замедлителя можно смещать пик нейтронного потока в область более коротких или длинных волн, что делает источник более «гибким» и адаптируемым под конкретные эксперименты. Дисперсная форма дает преимущества, первым из которых является возможность прокачивать хладагент, которым у нас является газообразный гелий, непосредственно через камеру замедлителя, тем самым получая в камере однородную температуру, что важно для спектра и при этом термализация нейтронов происходит более полно. Второе, это то, что при дисперсной загрузке можно не бояться радиолитического водорода, который неизбежно появляется при облучении любого водородосодержащего вещества, который при отогреве высвобождается из структуры и может оказывать давление на стенки камеры, как это произошло на источнике IPNS в США и первом метановом замедлителе в Дубне. В этих замедлителях был использован цельно кусковой метан и при отогреве выходящий радиолитический водород так давил на стенки, что разрушил эту камеру и она стала непригодна к работе.

Здесь мы этого не боимся, т.к. камера соединена с системой охлаждения которая составляет около 120 литров и к ней еще подключен газгольдер объемом 6 м³.

Принцип работы замедлителя состоит в следующем. Есть две петли, петля номер один рефрижераторный контур и петля номер два – контур загрузки. Потoki гелия не смеиваются, а теплопередача происходит в трубчатом теплообменнике 2 за счет контакта. Циркуляция гелия в петле загрузки обеспечивается гелиевой газодувкой 3 и процесс выглядит следующим образом. Температура в петлях понижается до 80 К, и шарики из специального дозирующего устройства 4 с определенной скоростью поступают в транспортный трубопровод 8, подхватывается циркулирующим гелием и минуя две биологические защиты попадают в камеру замедлителя 13, которая уже расположена возле активной зоны реактора. После того как все шарики доставлены, а доставить нужно порядка 27000 – 32000 шариков, в зависимости от конфигурации замедлителя. Процесс этот занимает 5 – 6 часов. После этого реактор выводится на мощность, начинается реакторный цикл работы на физический эксперимент, нейтроны пролетая через камеру замедляются до оптимальных энергий и попадают на экспериментальные установки. После того как реакторный цикл завершен, а это примерно 12 суток, реактор глушится, криогенная система останавливается, температура поднимается до комнатной, мезитилен плавится в камере и уже в жидкой фазе удаляется в специальный объем 10. После этого вся система откачивается от остаточных паров мезитилена и вся система снова готова к работе.

По такому принципу работы в 2012 году была введена в эксплуатацию первая очередь источника - комбинированный замедлитель с проектным номером 202 для пучков 7, 8, 10, 11. К настоящему времени он успешно отработал более 3300 часов на физический эксперимент. Главными результатами стала стабильная работа до 260 часов с дозовой нагрузкой порядка 160 МГр, что советует нормальному реакторному циклу, которого вполне достаточно для проведения физических экспериментов, второе – фактор увеличения потока холодных нейтронов составил 13 раз при температуре 32 К, хотя расчетное значение было 18 раз при проектных температурах 20 К. Такую температур удалось получить только в 2017 году, введя в эксплуатацию новую криогенную машину и третьим пунктом стало, что деградация к концу цикла составляет не более 10 %.

Учитывая хорошие, полученные результаты, принято решение сделать следующий замедлитель, так называемого «центрального» направления и таким образом целью моей работы было создание комбинированного замедлителя нейтронов реактора ИБР-2 на основе дисперсного мезитиена в направлении экспериментальных пучков 1, 4, 5, 6, 9 с многоконтурной системой охлаждения комплекса, обеспечивающей гибкий и независимый температурный режим в криогенных камерах замедлителя. Для достижения этой цели нужно было решить ряд задач.

Сам замедлитель, представленный на рисунке справа, имеет головную часть замедлителя формирующую оптимальный нейтронный поток, юстировочная опора, которая позволяет выставить ровно голову замедлителя относительно активной зоны реактора, блок биологической защиты, защищающий от прямого прострела нейтронного потока и блок инженерных коммуникаций. Зная оптимальный спектр нейтронного потока, например на спектрометре с поляризованной мишенью КОЛХИДА нужны тепловые

нейтроны, на малоугловой установке смешанный спектр, на фурье дифрактомере ФДВР и многоцелевом ДН-6, а также рефлектометра РЕФЛЕКС – холодные нейтроны вытекает первая задача – разработать и сконструировать оптимальную конфигурацию головной части замедлителя с точки зрения нейтронно-физических характеристик, технологической возможности изготовления и безопасной эксплуатации. Следующая отличительная особенность, от 2х других, состоит в том, что его сервисная комната обслуживания находится ниже активной зоны реактора и он имеет возможность перегрузки на водяной или другой криогенный. Для замены нужно разъединить инженерные коммуникации. Если используется водяной замедлитель, верхняя правая фотография, то это довольно легко нужно просто снять гофрированные шланги. В случае применения криогенного замедлителя еще добавляется слив мезитилена, вывод термопар и нужно подсоединить криогенные трубопроводы доставки шариков и охлаждения. Причем нужно сделать это довольно компактно, потому что замедлитель, как показано на рисунке в центре сначала двигается в стационарной защите, которая защищает персонал от ионизирующего излучения и далее в тоннеле к активной зоне реактора. Отсюда вытекает следующая задача – это разработать устройства соединения замедлителя КЗ 201 с инженерными коммуникациями системы охлаждения и транспортировки шариков. Также учитывая расположение замедлителя ниже активной зоны реактора существенно меняется пневмотрасса подачи шариков в камеру замедлителя. Если уже известная и хорошо изученная трасса замедлителя 202 имеет более простую геометрию и один подъемный участок с углом подъема 30° и длиной подъема 0,5 метра, а далее постоянный уклон в сторону камеры около 2° и шарики по действием силы тяжести могут сами докатываться до камеры. В случае 201 замедлителя пневмотрасса имеет постоянный уклон против движения шарика который может варьироваться от 2° до 7° . Кроме этого, имеет критический наклонный участок под углом 52° длиной 4 метра, сопряженный с поворотом на 100° при входе в блок биологической защиты. В блоке имеет тоже изгиб трубопровода, защищающий от прямого прострела нейтронного потока. Отсюда вытекает следующая задача – изучить и экспериментально доказать возможность применения метода пневмотранспортировки для доставки дисперсного мезитилена в камеру 201 замедлителя, а также определить оптимальные параметры процесса загрузки. И четвертой задачей по пункту, но не по значимости является разработка и оптимизация системы охлаждения всего комплекса замедлителей. Это необходимо для достижения проектных температурных параметров в 20 К и возможности использовать весь потенциал мезитилена требовалось отладить систему и научиться регулировать температуру в камере от 20 К до 150 К в каждом из замедлителей отдельно.

Положения, которые из всей этой большой работы я выношу на защиту следующие: первое – на полномасштабном стенде комбинированного замедлителя центрального направления проведено моделирование и доказана возможность применения метода пневмотранспортировки, а также определены оптимальные физико-технические параметры работы системы режиме загрузки без дефрагментации и слипания шариков. Второе – разработана и создана система охлаждения комплекса замедлителей с возможностью работы в широком диапазоне температур и есть возможность получать в каждом из замедлителей свои индивидуальные температуры. Третье – внедрено специальное крио-

генное фланцевое разъемное соединение холодных трубопроводов с единой вакуумной рубашкой, отсутствием теплового моста и локального теплопритока, а также ступеньки или преграды по ход движения шариков и среды не вносящее корректировок в траекторию их движения.

Часть вторая – разработка и создание комбинированного замедлителя. В этой части решаются вопросы разработки головной части замедлителя, инженерных коммуникаций с замедлителем и рассматривается вопрос моделирования процесса загрузки шариков на полномасштабном стенде при криогенных температурах.

Итак, зная оптимальный спектр нейтронного потока для каждой из физических установок были рассмотрены несколько вариантов конфигурации головной части замедлителя и по нейтронно-физическим характеристикам, технологической возможности изготовления и безопасной эксплуатации был выбран вариант номер один. Расчётные результаты математического моделирования фактора выигрыша для каждого из пучков представлены в таблице. Для пучка номер 1, где оптимальным является тепловой спектр выигрыш по сравнению с гребенчатым составляет 1,4 раза, для остальных пучков, которым нужны холодные нейтроны усиление потока длинноволновых нейтронов возросло до 9 раз. Головная часть замедлителя, если смотреть от зоны реактора состоит из камеры карбида бора для предотвращения возвращения тепловых нейтронов в активную зону реактора, водяного предзамедлителя, вакуумной камеры, внутри которой расположена криогенная камера в которую засыпается рабочее вещество и там формируется поток холодных нейтронов, водяная рамка для канала номер 1, формирующая спектр тепловых нейтронов и рамка постзамедлителя. Представленная 3Д модель – является рабочей версией по которой был сделан замедлитель.

Следующая задача – подключение инженерных коммуникаций. Подключение циркулирующей воды, не представляет проблем и будет выполнено как и на водяном замедлителе, слив мезитилена будет также выполнен частью гофрированного шланга, вывод термопар будет осуществлен между двух фланцев с резинками, это соединение испытано, проверено и герметично. Проблема была с криогенными соединениями, потому, что все известные соединения как байонетные или штыковые нам не подходили. Это было связано с тем, что на лабораторных стендах было изучено движение шариков в прямой трубе и обнаружено, что шероховатость или преграда в 200 – 300 мкм снижает скорость шарика на 20 %. Т.е. они могут собраться в большую группу и образовать затор. Именно поэтому не могли себе позволить иметь гибкие частики, которые неизбежны в штыковых соединениях. Во вторых, такие соединения неизбежно имеют локальный теплоприток в месте стыковки и мезитиленовая пыль может начать прилипать, образуя нарост и как следствие затор. Учитывая задачу были разработаны специальные криогенные фланцевые соединения, работающие по принципу телескопической сборки. Они довольно просты и удобны в использовании. Сдвижная кожуховая часть уходит в кожух инфраструктурного трубопровода, открывается внутренний участок и за счет отсутствия теплового моста внутренний трубопровод имеет некоторую свободу перемещения, можно разомкнуть удаляемый участок и разобрать соединение. Сборка происходит в обратном порядке. Сопрягаемые участки имеют ступеньку высотой 0,3 мм, которая находится по ходу движения шарика и не вносит корректировок в его траекторию

движения. Однако, благодаря этой ступеньки мы можем центрировать два сопрягаемых участка трубопровода, а также убрать зазор между ними, который неизбежен при применении прокладки. На фотографии продемонстрировано как они выглядят на замедлителе при первой примерке. Они компактны и укладываются в размеры блока, а замедлитель свободно двигается в стационарной защите. На фотографии слева соединение представлено в собранном виде, слева кожуховая часть разобрана. Все оборудование криогенной системы было собрано при помощи таких соединений. Резонов такой сборки было несколько. Первый из них это то, что нам удалось проверить эти соединения в рабочем режиме циклически поднимая и опуская температуру в диапазоне от 10 К до 300 К. При этом запотеваний, обмерзания или нарушения герметичности обнаружено не было. К тому же, при изменении системы, ее разборки или внедрения нового оборудования не требуется применять угловые шлифовальные машины и сварку. При этом пыль и грязь не попадает в вакуумные и криогенные полости, что очень важно.

Следующая задача – это определение возможности доставки шариков в камеру замедлителя. Как отмечалось ранее трасса КЗ 201 геометрически существенно сложнее. Имеется длинный участок подъема, а также в блоке биологической защиты есть изгиб, защищающий от прямого прострела нейтронного потока. Теоретических и экспериментальных данных с такой геометрией трубопровода не было и было необходимо сделать для того, то бы понять актуален принцип пневмотранспортировки для того замедлителя или нет. Для моделирования процесса загрузки был разработан и создан полномасштабный стенд на пучке № 3 реактора ИБР-2, который полностью повторяет геометрию трассы трубопровода реального замедлителя, кроме того сюда встроены все устройства, которые применяются на реальном замедлителе. Модель криогенной камеры имеет 3 стекла, первое из которых имитирует стенку камеры, а два других позволяют смотреть из «комнатной» температуры в криогенную. Это дает возможность наблюдать как шарики распределяются в камере замедлителя, нет ли пустот, а также наблюдать разрушаются шарики при транспортировке или нет. Было сделано более 6 полных загрузок макета камеры, при этом было обнаружено, что распределяются они равномерно, пустот нет и они при транспортировке практически не разрушаются. В небольшом видео продемонстрирован процесс загрузки шариков.

Главными результатами работы на стенде стало доказательство возможности применения метода пневмотранспортировки, а также найдены оптимальные параметры работы устройств для загрузки шариков без слипания и заторов. Основные параметры – это температура в петле загрузки должна быть в пределах от 81 К до 100 К, именно при такой температуре массовый расход гелия составляет от 1,6 до 3 г/с при котором шарики могут преодолеть затяжной подъем; далее скорость подачи шариков в тракт должна быть в среднем 1,5 – 1,8 шарика в секунду, именно при такой скорости шарики равномерно распределяются по трубопроводу и не образуют большие группы. Также при такой скорости подачи шариков общее время загрузки составляет около 5 часов, что является удовлетворительным результатом.

Краткими выводами по второй части следует отметить, что разработана и сконструирована головная часть замедлителя, внедрено специальное криогенное, разъемное соединение, а также создан полномасштабный стенд на котором проведено моделирова-

ние и определены оптимальные параметры для загрузки шариков без заторов и разрушения. На этом слайде на центральной фотографии замедлитель стоит в чистой зоне перед примеркой, на фотографии слева он двигается в каньоне, а справа результат примерки. По маркерам, нанесенным на головную часть мы определяем как близко к тепловой защите, за которой находится активная зона ректора, выставлен замедлитель. Как видно сейчас он выставлен ровно по всей плоскости и расстояние до защиты составляет 2 – 5 мм. Это очень важная процедура, и если замедлитель будет стоять дальше, то 2 ортогональных пучка (1 и 9), которые смотрят на боковую поверхность замедлителя не получат желаемого спектра нейтронного потока.

Последняя часть доклада посвящена системе охлаждения всего комплекса замедлителей. Представляет она из себя вот такую структуру, где главными являются 2 рефрижераторные установки холодильной мощностью 700 Вт и 1200 Вт, криогенные коллектор, который их объединяет и позволяет резервировать, два теплообменника и замедлители. Также различное вакуумное оборудование, термометрию и т.д. Центральной композицией является коллектор, позволяющий распределять потоки гелия к тому или другому замедлителю и даже при выходе одной из установок из строя, мы сможем выполнить свои обязательства перед пользователями и провести цикл работы реактора в режиме криогенного замедлителя. Так выглядит криогенная зона, коллектор, две установки и теплообменники. Так это выглядит на фотографиях, слева – установка изготовленная НПО «Гелиймаш», справа у нас рефрижератор фирмы Linde AG, его блок очистки, блок охлаждения гелия, криогенный коллектор с блоком холодных вентилях и два теплообменника для 202 и 201 замедлителей.

Итогами работы системы охлаждения после реконструкции стало следующее: увеличилась максимальная охлаждающая мощность системы, появилась новая рефрижераторная установка 1200 Вт на 10 К (далее в правой колонке приведены данные именно для этой одной машины, в связи с тем, что нам было важно резервировать установки и знать параметры, которые получаются при работе одной установки). Таким образом, по результатам реконструкции системы минимальная температура в камерах снизилась с 30 К до 22 К при работе в одном направлении, при работе на 2 направления с 60 К до 22 К. В физическом плане это дало повышение потока холодных нейтронов при работе на одном замедлителе на 22 % и при работе на 2 замедлителя одновременно на 200 %. Кроме того, система позволяет работать в широком диапазоне температур от 20 К до 150 К. При этом 150 К ограничено слипанием мезитилена. При экспериментах на полномасштабном стенде было найдено, что при 160 К шарики начинают слипаться между собой, прилипать к стенкам трубопровода, камере и работать с ними нельзя. Используя такие температуры на установках РЕМУР пучок № 8 и НЕРА пучок 7с были сняты спектры нейтронного потока. Слева – спектра, справа – фактор выигрыша и экспериментаторы могут от этого уже отталкиваться и выбирать оптимальную температуру для их экспериментов. Также появилась возможность получать в каждом из направлений свои индивидуальные температуры, что так же важно т.к. могут быть различные методики под различные эксперименты в одном реакторном цикле. И также появилась, как я уже говорил, возможность резервировать криогенные установки – это увеличивает надежность системы.

Основными выводами по работе я считаю следующие: впервые изготовлен и разработан комбинированный замедлитель нейтронов в направлении пучков 1, 4, 5, 6, 9 на основе дисперсного мезитилена, повышающий выход длинноволновых нейтронов до 9 раз и тепловых для пучка № 1 до 1,4 раза. В результате экспериментального моделирования на полномасштабном стенде 201 замедлителя детально изучена возможность загрузки шариков в камеру замедлителя, а также определены оптимальные физико-технические параметры работы оборудования и среды с учетом конфигурации пневмотрассы для доставки шариков без разрушения и слипания. Разработано и применено специальное криогенное фланцевое соединение коммутирующее замедлитель и инженерные коммуникации пневмотрассы и системы охлаждения не имеющее локального теплопритока, ступеньки или преграды и не вносящее коррективов в траекторию движения шариков. Создана система охлаждения комплекса замедлителей, которая обеспечивает независимые температурные режимы в каждом из замедлителей, причем позволяет работать в широком диапазоне температур и при этом были достигнуты проектные температурные параметры на уровне 22 К в камере, что повысило выход холодных нейтронов на 22 % при работе на одном замедлителе и на 200 % при работе на два замедлителя одновременно. Спасибо за внимание. В конце скажу, что результаты работы опубликованы в 22 научных трудах, 7 из которых входят в перечень цитирования ВАК и имеется 2 патента на сам принцип работы замедлителя и на криогенное соединение. Все спасибо!

Малахов А.И.: Спасибо! Пожалуйста, вопросы. Профессор Батюня.

Батюня Б.В.: Скажите, а вы это докладывали на конференциях?

Мухин К.А.: Да, на конференциях докладов было очень много, более 15 на российских и международных. Было 2 доклада в 2016 и 2018 годах на технических совещаниях МАГАТЭ по источникам холодных нейтронов.

Малахов А.И.: Еще вопросы есть?

Садовский С.А. Возможно, я прослушал. С какой точностью они делаются и какой диаметр имеют?

Мухин К.А.: Да я этого не сказал. Я бы показал фотографии, как они делаются, но на это нет времени. Диаметр шарика от 3,5 мм до 3,9 мм. Точность изготовления должна быть довольно хорошая и поэтому шарики просеивают не один раз. Система очень тонкая и отклонения могут существенно затруднить подачу шариков. Тут и устройство подачи уникальное и скорость подачи нужно учитывать. Изготовление проводится следующим образом: мезитилен при комнатной температуре находится в жидкой фазе и его заливают в специальное устройство, имеющее капельницы, внизу стоит бак с азотом, 2 решетки одна с диаметром ячеей 4,2 мм, нижняя 3,4 мм. Капля мезитилена попадает в азот и держится на поверхности до затвердевания, а потом тонет. Большие шарики остаются на верхней решетке, а маленькие просеиваются через нижнюю. Процесс просеивания проводится не один раз, т.к. шарики могут иметь эллиптическую форму. Этот процесс уже отлажен.

Малахов А.И.: Спасибо. Еще вопросы есть? Как я понял вы эти шарики потом сливаете? А потом делаете из него их заново?

Мухин К.А.: Нет, ничего мы из него не делаем.

Малахов А.И.: Еще вопросы? Ну, хорошо, если больше вопросов нет, то Вы, пожалуйста, присядьте. Далее есть возможность предоставить слово научному руководителю, если он желает это сделать. Николай Николаевич Агапов – доктор технических наук, главный инженер ЛФВЭ.

Агапов Н.Н.: Мой отзыв находится в материалах дела. Я просто скажу в 2х словах. Сегодняшней доклад вы видели, он подтвердил высокую подготовку этого человека в его возрасте он руководитель достаточно большого коллектива из 18 человек, которые работают вместе с ним, над этой проблемой и мне было очень приятно с ним работать и обсуждать эти проблемы. Я очень рад за наш коллектив института, что мы имеем очень перспективного ученого, который в будущем будет привлекать новых людей, потому, что нам нужно обязательно привлекать новых молодых людей и интересовывать их в наших проблемах. Спасибо.

Малахов А.И.: Спасибо Николай Николаевич. Теперь у нас настала очередь предоставить слово опять нашему ученому секретарю, Валентину Александровичу, для оглашения заключения организации, была выполнена работа, а также отзыв ведущей организации. Пожалуйста.

Арефьев В.А.: Заключение организации, где была выполнена работа, оформлена в виде выписки из протокола заседания научно-технического совета Лаборатории нейтронной физики от 06 июня 2018 года. Численный состав 35 человек, присутствовало на заседании 37 человек из них членов совета 25. В обсуждении диссертационной работы приняло 9 членов НТС, при этом выступающими было отмечено, что диссертационная работа Мухина К.А. по своей научной новизне, практической значимости и важности полученных результатов отвечает требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, и соответствует специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики.

Заключение о диссертационной работе.

В диссертационной работе «Источник холодных нейтронов на основе дисперсного мезитилена с системой охлаждения для реактора ИБР-2» разработан комбинированный замедлитель нейтронов (КЗ 201) на основе дисперсного мезитилена в направлении экспериментальных пучков 1, 4, 5, 6, 9 реактора ИБР-2. В ходе работы на полномасштабном стенде проведено моделирование процесса загрузки шариков в камеру замедлителя, экспериментально доказана возможность применяя дисперсного мезитилена на КЗ 201. Подобраны оптимальные параметры работы устройств и физико-технические характеристики среды, обеспечивающие доставку шариков по трубопроводу сложной конфигурации с критическими углами подъема без их существенной дефрагментации, слипания и заторов. С учетом конфигурации замедлителя КЗ 201, а также особенностей расположения его системы перегрузки для возможности замены замедлителя, сервисного обслуживания и проведения ППР – было разработано, запатентовано и внедрено спе-

специальное разъемное криогенное соединение, позволяющее соединять (разъединять) замедлитель с инженерными коммуникациями системы охлаждения и транспортировки. Учитывая физические свойства мезитилена, есть возможность использовать его в широком диапазоне температур от 20К – 150К, смещая пик нейтронного потока в область коротких или длинных волн. Созданная система охлаждения комплекса замедлителей, позволяет использовать весь потенциал мезитилена, обеспечивая стабильный и независимый температурный режим в каждом из замедлителей в диапазоне от 20 К до 150 К. Предусмотрена система резервирования рефрижераторных установок, что повышает надежность работы системы охлаждения. Оптимизация криогенных трубопроводов, опор, тепловых мостов системы охлаждения позволили снизить тепловую нагрузку на контуры системы и достигнуть расчетных температурных параметров в камере замедлителя КЗ 202 на уровне 22 К, что дало выигрыш потока холодных нейтронов до 23%, при работе в одном направлении и до 2 раз при работе КЗ 202 и КЗ 201 одновременно.

Основные результаты работы:

1. Впервые разработан и изготовлен комбинированный замедлитель нейтронов в направлении пучков 1, 4, 5, 6, 9 на основе дисперсного мезитилена, повышающий выход длинноволновых нейтронов до 9 раз и тепловых (для канала № 1) до 1,4 раз.
2. В результате экспериментального моделирования на полномасштабном стенде КЗ 201 детально изучена возможность загрузки шариков мезитилена в камеру замедлителя методом пневмотранспортировки и найдены оптимальные физико-технические параметры работы устройств и среды с учетом конфигурации пневмотрассы КЗ 201 для доставки шариков без заторов, разрушения и слипания.
3. Впервые разработано и применено специальное криогенное фланцевое разъемное соединение коммутирующее замедлитель и инженерные коммуникации пневмотрассы и системы охлаждения, не имеющее локального теплопритока, ступеньки или преграды по ходу движения и не вносящее коррективов в траекторию шарика.
4. Создана система охлаждения комплекса замедлителей, обеспечивающая независимый температурный режим в каждом замедлителе, а также позволяющая выбрать режим работы в диапазоне от 20 К до 150 К. Достигнуты проектные температурные параметры в камере замедлителя на уровне 22 К, что повысило выход длинноволновых нейтронов до 23%, при работе на одном замедлителе и в 2 раза при работе на 2х замедлителях одновременно.

Основные результаты, изложенные в диссертации, получены самим автором, либо при определяющем вкладе автора. Результаты, вошедшие в диссертацию, были доложены и обсуждались на 20 научных конференциях. Опубликовано работ на тему диссертации с участием автора 22, из них реферируемых ВАК 7, патентов на изобретение 2.

Постановили:

1. Рекомендовать представленную Мухиным Константином Александровичем диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики к защите.

2. Утвердить текст заключения о диссертационной работе Мухина Константина Александровича.

Подписано председателем НТС ЛНФ Франком, ученым секретарем ЛНФ Худобой, утверждено директором ЛНФ Швецовым.

Малахов А.И.: Спасибо. Отзыв ведущей организации.

Арефьев В.А.: Ведущая научная организация АО НИКИЭТ им. Доллежала дала следующий отзыв.

Актуальность представленной работы не вызывает сомнений и посвящена созданию холодных источников нейтронов на исследовательских реакторах и ускорителях, работающих по принципу реакции spallation, которые можно назвать первичными источниками нейтронов. Для замедления, нейтроны должны многократно столкнуться с атомами рабочего вещества – замедлителя, и если для снижения энергии нейтрона до тепловой области достаточно применить дистиллированную воду, прокачиваемую через камеру, то для получения холодных нейтронов с длиной волны более 4 \AA , принято применять различные водородосодержащие вещества при криогенных температурах. Стоит отметить, что, как и исследовательские первичные источники уникальны, так и каждый создаваемый холодный замедлитель (или источник) является – индивидуальным, инженерно-технически сложным устройством. Создание таких холодных источников подразумевает оценку многих параметров, начиная от оптимизации конфигурации самого источника, выбора замедляющего вещества, принципа работы и режимов эксплуатации, и заканчивая созданием необходимой инфраструктуры, систем охлаждения и безопасности, которые могут быть даже сложнее и более трудоемкими в реализации, чем сам источник. Научная новизна и практическая значимость полученных результатов выражается в самом создании принципиально нового и единственного в мире по принципу работы источника холодных нейтронов. В качестве рабочего вещества – замедлителя автор обоснованно выбирает мезитилен в смеси с метаксилолом в форме шариков в твердом агрегатном состоянии. Загрузку производят методом пневмотранспортировки по специально разработанным для этого трубопроводам без сильфонных узлов. Температурное линейное расширение компенсируется естественным способом на поворотах, а снижение нагрузки на разрыв обеспечено применением специально разработанных «скользящих» опор. В ходе реализации проекта автором были разработаны новые технические решения и устройства, основные из которых были защищены патентами РФ. Одним из таких устройств является фланцевое разъемное соединение для комбинированного замедлителя КЗ 201. Этот замедлитель был специально разработан для экспериментальных пучков 1, 4, 5, 6, 9 и благодаря своему расположению относительно активной зоны реактора имеет возможность замены. Замена или перегрузка замедлителя может потребоваться в случае выхода замедлителя из строя, разработки более оптимальной конфигурации головной части замедлителя или необходимости получить повышенный поток тепловых нейтронов. Достоверность результатов, полученных автором в рамках темы диссертационной работы подтверждается успешной эксплуатацией первой очереди источника холодных нейтронов – комбинированного замедлителя КЗ 202 с 2012 года. По результатам диссертационного исследования опубликовано 7 статей в рецензи-

руемых журналах, входящих в перечень ВАК. Автором получены 2 патента РФ. Результаты работы прошли достаточную апробацию в многочисленных докладах автора на российских и международных научных конференциях. Всего по теме диссертации автором опубликовано 22 работы.

Личный вклад состоит в разработке методик и технических решений по определению параметров и описанию траектории движения шариков в трубе на лабораторных и полномасштабных стендах, созданию инженерных коммуникаций, макетов и собственно замедлителей; проведению испытаний, подбору материалов и оборудования вакуумной системы; разработке и внедрению специального криогенного фланцевого соединения, защищенного патентом; разработке новой криогенной системы, позволяющей получить широкий и индивидуальный температурный режим в камерах замедлителей с резервированием рефрижераторных установок. Автор принимал участие во всех научных, технических и экспериментальных работах, организовал участок по изготовлению криогенных трубопроводов для замедлителя, ставил эксперименты, анализировал результаты и делал выводы, на основании которых принимались решения по дальнейшим действиям в рамках проекта. Личный вклад автора в эти работы не подвергается сомнению и является определяющим, что подтверждается хорошим знанием и детальным описанием принципов и режимов работы экспериментального оборудования, глубокой оценкой и анализом полученных результатов, технически грамотным решением возникающих в работе проблем.

Заключение.

Диссертация написана понятным терминологически корректным языком, логична по своей структуре и очередности изложения, автореферат диссертации полностью отражает основную суть работы, вклад автора и выводы. Тема и содержание квалификационной работы на присуждение ученой степени кандидата технических наук, соответствуют паспорту специальности 01.04.01 — Приборы и методы экспериментальной физики.

По тексту диссипации можно сделать следующие замечания:

1. Целью работы автор выбирает глобальную задачу «Создание замедлителя», решаемую большим коллективом с привлечением сторонних организаций. По нашему мнению, более корректно цель диссертационной работы, подчёркивающая научно-техническую значимость проведенной автором работы, исходя из её содержания, может быть сформулирована: «Расчетные и экспериментальные исследования в обоснование конструктивных и технологических решений, принятых при создании комбинированного замедлителя нейтронов реактора ИБР-2 на основе дисперсного мезитилена в направлении...».
2. В работе автор отмечает, что наилучшим замедлителем является метан, но не рассматривает и не предлагает устройство по созданию метановых шариков. В качестве продолжения работы предлагаем провести исследования возможности применения метановых шариков в комбинированном замедлителе.
3. В работе указано, что предзамедлитель может влиять на реактивность реактора, в связи с чем, он классифицирован по влиянию на безопасность как элемент важ-

ный для безопасности (ЗН), однако обоснование выбора классификации в работе не приводится.

4. Автор не рассматривает в работе влияние отказов других элементов комбинированных замедлителей на безопасность реактора.

Высказанные замечания не снижают высокой научно-практической значимости работы. Работа аккумулирует большое количество данных для создания таких сложных устройств как холодные замедлители, а новые разработки, и полученные в результате исследований и опытной эксплуатации параметры позволяют рассматривать такие замедлители как перспективное направление для источников средней и малой мощности. В качестве дальнейшего развития тематики предлагаются следующие направления:

1. Продолжить работу по оптимизации криогенной системы охлаждения и провести эксперименты по зависимости спектра от температуры ниже 20 К.
2. Рассмотреть возможность внедрения таких замедлителей (или других) на компактные источники нейтронов малой мощности. Сейчас активно развивается создание компактных источников для вузов и малых научных центров.
3. Оценить максимальную дозовую нагрузку на рабочее вещество (мезитилен в смеси с метаксилолом) до его критической вязкости 14 полимеризации.
4. Попытаться разработать устройство подсчета каждого шарика, для более точного контроля.

Диссертационная работа Мухина Константина Александровича является завершённым самостоятельным научно-квалификационным исследованием, в котором получены и экспериментально обоснованы оптимальные параметры работы систем и оборудования источника холодных нейтронов реактора ИБР-2. В целом, работа имеет высокую научную и практическую значимость, подтвержденную усовершенствованиями, полученными на физических инструментах РЕМУР, СКАТ, НЕРА и имеет перспективное продолжение. Рассматриваемая квалификационная работа соответствует критериям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, установленным п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, а её автор, Мухин Константин Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.01 — Приборы и методы экспериментальной физики.

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании отдела исследовательских и изотопных реакторов АО «НИКИЭТ», подписан заместителем директора по НИОКР АО «НИКИЭТ» доктором технических наук Лопаткиным Александром Викторовичем, главным конструктором исследовательских и изотопных реакторов АО «НИКИЭТ» Третьяковым Игорем Товиевичем и заместителем главного конструктора исследовательских и изотопных реакторов АО «НИКИЭТ» Романовой Натальей Викторовной, утвержден генеральным директором АО «НИКИЭТ» Каплиенко.

Малахов А.И.: Спасибо. Константин Александрович, там были замечания, пожалуйста.

Мухин К.А.: По первому замечанию по поводу формулировки задачи. Здесь можно согласиться или не согласиться. Я для себя видел главной целью не просто провести расчетные и экспериментальные работы, а именно получить для нашего реактора, рабо-

тающий замедлитель, который позволит реально повысить поток холодных нейтронов и проводить эксперименты, а не просто, получили и получили расчеты и оставили. Тем более я принимал непосредственное участие во всех технических совещаниях по разработке головной части, самого замедлителя, который изготавливался в «НПО АТОМ». Поэтому здесь я скажу, что можно согласиться или не согласится. Мне кажется, что моя цель более объемная и отражает главную суть и цель работы и в каждой ее части я принимал непосредственное участие.

По второму замечанию. Изготовление метановых шариков – это отдельный сложный процесс, который разрабатывать конечно нужно, потому что это наилучший замедлитель, но дело в том, что метан у нас находится в газообразном состоянии при комнатной температуре. Т.е. это еще одна большая научно-техническая разработка, где нужно делать какие-то криогенные устройства, может быть поговорить с Черниковым, криостаты, которые будут сначала конденсировать метан в жидкое состояние, потом как-то делать шарики. Работа в этом направлении вестись будет, но это не быстрый процесс.

Третье замечание – это классификация замедлителя. Здесь стоит отметить, что я не занимаюсь классификацией, потому что этим должна заниматься специализированная организация, которая и присваивает каждой части замедлителя определённый класс безопасности. И предзамедлитель у нас классифицируется по ЗН для атомных энергетических установок, как элемент влияющий на безопасность. Так же есть, например классы 1 и 2, которые влияют на разрушение ТВЭЛов или их разгерметизацию. ЗН на это не влияет. Я не ставил себе задачу классифицировать.

Четвертое замечание, это то, что я не рассматриваю вопросы влияния на безопасность отказы других элементов. На самом деле они рассматриваются. У нас есть методики действий персонала при отключении криогенной системы, отключении электроэнергии, остановки циркуляции гелия. Но это просто методическая работа, инструкции для эксплуатирующего персонала, которые мы уже разработали и включать в работу инструкции, которые не несут научной значимости я не стал, потому что это просто увеличит объем работы, но научной составляющей ни какой не принесет.

Малахов А.И.: Валентин Александрович, есть ли еще какие либо отзывы?

Арефьев В.А.: Дополнительных отзывов на диссертацию и автореферат не поступало.

Малахов А.И.: Хорошо, тогда мы переходим к отзывам официальных оппонентов. Они оба присутствуют. Согласно тому порядку как у нас написано первый Сидоркин Станислав Федорович кандидат физ.-мат. наук и.о. зав. сектора импульсных источников нейтронов лаборатории нейтронных исследований институт ядерных исследований РАН. Пожалуйста, Вам слово.

Сидоркин С.Ф.: Добрый день уважаемые коллеги! Я бы сразу хотел отметить, что выступление было очень хорошим оно полностью повторяет саму диссертацию. Отзыв ЛНФ очень подробный, прямо по тексту диссертации. Отзыв ведущей организации все это повторяет, не знаю стоит ли мне еще раз это повторят, мне кажется это бессмысленно. Поэтому я могу только отметить достоинства и недостатки диссертации и дать свое заключение. Один из вопросов НИКИЭТ о дозовых нагрузках, частично был уже затронут, в другой работе, поэтому я бы это замечание немного нивелировал. Сразу скажу,

что диссертация сделана на высоком научном уровне, научная новизна не вызывает сомнений, тем более, что в стране на данный момент это единственный холодный замедлитель на действующем реакторе. То, что будет на ПИКе, мы можем только ожидать, а здесь это уже реально действующий замедлитель. Отмечу полное совпадение выступления и самой диссертации, которая написана на очень хорошем уровне. Это уже отметила ведущая организация, и это нет смысла повторять. Поэтому я перейду к небольшим недостаткам. Я полностью присоединяюсь к отзывам ЛНФ и ведущей организации. В тексте диссертации присутствуют некоторые орфографические и пунктуационные ошибки и опечатки, но это неизбежно. К техническим недостаткам можно отнести не очень хорошее качество рисунков 3 и 4. Также автор довольно подробно описывает все технические особенности работы оборудования и физические принципы. К примеру принцип работы трубки Пито, который не является новыми или уникальным. Такие подробности можно было бы опустить, сократив объем диссертации. Но это ни в коем случае не уменьшает ее значимость. В качестве рекомендации хочется предложить автору продолжить работу в направлении создания дисперсного источника нейтронов с постоянно или периодически сменяемым веществом в камере по идее Бауэра. Попробовать, это уже отмечалось, разработать устройство изготовления метановых шариков, а также подумать над возможными добавками для снижения вязкости исходных углеводородов при облучении. Разработанные автором криогенные соединения универсальны, это очень важно, т.к. мы у себя на источнике сталкивались с этим, может быть использовано не только для шарикового замедлителя, но и для транспортировки других веществ при криогенных температурах. Предложенная и реализованная автором идея менять температуру рабочего вещества в камере замедлителя, смещая пик нейтронного потока очень важно, подгонять параметры замедлителя под конкретные эксперименты и это делает замедлитель «гибким» и легко адаптируемым к различным экспериментам. В заключении стоит отметить, что соискателем проведена действительно огромная работа, предложенные технические решения позволяют сделать универсальный источник для реактора ИБР-2, покрывающий широкий круг физических задач по исследованию различных веществ и материалов. Вклад автора а проведение экспериментов и разработки являются доминирующим и не вызывает никаких сомнений. Результаты, входящие в диссертационную работу опубликованы в 22 печатных работах из которых 7 входят в перечень ВАК и имеет с2 изобретения. Научная новизна и практическая значимость подтверждается реальной эксплуатацией, все проверено, все доказано. Автореферат полностью отражает суть работы и содержит исчерпывающие выводы, ровно как и выступление автора. Считаю, что работа Мухина выполнена на высоком научно-техническом уровне, является законченным исследованием, полностью удовлетворят требованиям, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор безусловно заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики. Меня привлекают второй раз к оппонированию диссертации по этой тематике и я всегда отмечаю очень высокий уровень работы проделанной в ЛНФ. Это все.

Малахов А.И.: Спасибо большое, Станислав Федорович. Там были некоторые замечания.

Мухин К.А.: Я соглашусь с техническим замечание по поводу качества рисунков, но они находятся в лит. обзоре, во введении и конечно я брал какие – то старые источники, данные при сканировании и ксерокопировании произошло ухудшение качества. Больше нечего сказать. Я соглашусь с оппонентом, что качество было не очень хорошим.

Малахов А.И.: Следующий оппонент у нас Григорьев Сергей Валентинович доктор физ.-мат. наук, профессор, зам. директора по международной деятельности Петербургского института ядерной физики им. Константинова. Пожалуйста, Сергей Валентинович, вам слово.

Григорьев С.В.: Дорогие коллеги, я должен отметить необыкновенную актуальность этой работы. Я люблю говорить про актуальность работ в области холодных источников нейтронов, потому что сам я работаю в физике конденсированного состояния, занимаюсь нейтронным рассеянием и для меня это абсолютно необходимый элемент для реактора и нейтронного центра. И вот когда в ОИЯИ появилась группа, которая создала с нуля источники холодных нейтронов, их два, поднялось на мировой уровень. Расскажу следующую историю, что вот для установок малоуглового рассеяния источники холодных нейтронов необходимы, потому что установка, которая работает просто на тепловых нейтронах она примерно в тысячу раз хуже, чем установка с холодным источником. Во первых она в 10 раз хуже по разрешению, во вторых по чувствительности примерно в 100 раз и в третьих, если работать на тепловых нейтронах, то детекторы, работающие на гелий три при высоком давлении, а нейтроны когда проходят стенку поликристаллического алюминия вносят шум и искажения. Поэтому работать с тепловыми нейтронами на установках малоуглового рассеяния практически нельзя. Поэтому, когда диссертант показывает нам источник холодных нейтронов и одна из установок, которую он обеспечил холодными нейтронами оказалась установка ЮМО, то российское малоугловое сообщество должно радостно хлопать в ладоши. На столько это актуально. Если говорить про такую технику, как спин-эхо малоугловое рассеяние, то диапазон измеряемых величин увеличивается с длиной волны в квадрате, т.е. если мы переходим от одного ангстрема к 10, сдвигаем спектр в ту сторону, то разрешение установки увеличивается в 100 раз. А если говорим про спин-эхо спектроскопию, то там зависимость лямбда в кубе и поэтому это в 1000 раз все улучшается. Этим я хочу сказать, что физика конденсированного состояния не может работать без холодных источников. Поэтому диссертация абсолютно актуальна, абсолютно. Что касается достоверности, как сказал Константин Александрович, задача была построить холодный источник, а не защитить диссертацию, то достоверность проверена временем, потому что один из источников работает с 1012 года, а второй с 2017 и он используется нейтронным центром ОИЯИ. Я не буду повторять содержание диссертации и перейду к немногочисленным замечаниям. Собственно замечаний и нет, я хочу сказать, что работа логично структурирована, написана простым русским языком, хорошо иллюстрирована, это кстати заметно и по презентации, она великолепная была. Что касается технических недостатков я, все таки, хотел бы заметить, что тексте диссертации во Франции есть только один источник холодных нейтронов, хотя на самом деле только в ILL их два, а еще есть LLB который не может работать без холодных нейтронов, поэтому их всего три. Ну вот например интересная история со ссылками, почему то оказалась, что между ссылками 72 и 73 стоит ссылка 23 и есть в

общем, небольшие огрехи, что касается технических огрехов, которые не имеют большого значения, но на странице 86 сделан вывод, что узел ввода термодпар герметичен, хотя не говорится при каких температурах. Ну я конечно думаю, что он вполне герметичен во всем диапазоне температур от 20 К до 300 К. Но эти мелкие ошибки не вносят никакого принципиального характера и работа в целом читается «на одном дыхании». Работа очень хорошая. В заключении хочу предложить автору продолжить работу над холодными источниками реактора ИБР-2. И конечно не могу не сказать про компактные источники. Мы работаем над проектом такого источника и я думаю Константин Александрович присоединится в этих работах к нам, потому что для компактных источников холодные замедлители совершенно необходимы. 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 технических наук по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики. Спасибо.

Малахов А.И.: Спасибо, Сергей Валентинович. Слово для ответа.

Мухин К.А.: Я хочу сказать, что мне очень досадно за эти огрехи и за этот пункт 23, который как раз на этот патент криогенного фланцевого соединения, закрался в список литературы между 72ой и 73й ссылками. Из-за этого далее все съехало. По поводу вывода термодпар. Это соединение находится на торце блока биологической защиты и эксплуатируется только при комнатной температуре. Поэтому там 2 резинки используются там не будет никогда криогенных температур. Термодпары расположены в вакуумной рубашке, их длина 4 метра, который работает как тепловой мост и в районе вывода там будет только комнатная температура.

Малахов А.И.: Хорошо, спасибо. Так, сейчас у нас открывается общая дискуссия. Пожалуйста, желающие выступить, высказать свое мнение, отношение, есть такая возможность. Так, доктор Ужинский.

Ужинский В.В.: Я боюсь быть навязчивым, но в ФЭИ есть эксперимент по антипротонам и называется ПАНДА. ОИЯИ является участником эксперимента ПАНДА и там предполагается использовать pellets target. Т.е. резервуар из жидкого водорода, в котором формируются капельки и они падая пересекают пучок и потом снова циркулируют. Шведские коллеги которые создали эту pellets target очень горды этим. Немецкие коллеги, французские коллеги нас ждали и теперь после диссертации у нас в ОИЯИ есть такая технология и надо это учесть, то что в будущем на НИКА или других наших экспериментах можно сделать pellets target. А они имеют определённые преимущества. Все у меня.

Малахов А.И.: Спасибо, еще какие выступления есть? Виктор Викторович Глаголев.

Глаголев В.В.: Сначала короткое отступление. Я родился в 1932 году – ровесник открытия нейтрона как элементарной частицы. Судьба сложилась так, что я кончал физфак МГУ на кафедре нейтронной физики и дипломную работу защищал в кабинете Ильи Михайловича Франка ФИАН. В то время это были очень секретные работы, и они

не были связаны с такими тонкими эффектами, о которых сегодня идет речь. Раньше было как, самым секретным был коэффициент размножения нейтронов при расщеплении урана. Эта величина 2,3, которая сто лет известна. Но тогда, это все было направлено на создание оружия, и в то время дипломная работа выполнялась с помощью трубки генератора и трубки ускоряющей дейтроны и мишень была в подвале тритиевая. И в результате реакции монохроматические нейтроны энергией 14 МэВ. Это был основной источник, кроме полониево-бериллиевого источника, который давал некий спектр. Так вот я хочу сказать, что на этой трубке страдали некоторые люди, потому что работа с нейтронами была на самом деле опасна. Например, был такой эпизод, что эта мишень, тритиевая, на которую падал дейтерий, она находилась в подвальном помещении, как я уже сказал, и нужно было найти оптимальное её положение, что был оптимальный выход нейтронов. Там два человека – экспериментатора, в том числе сын Сергея Ивановича Вавилова, Виктор Сергеевич. Он еще один его коллега сидели вместе на стремянке, около мишени и они микровинтами пытались настроить, а другой человек сидел за банками с водой, как замедлитель и говорил больше, меньше. Результат тот, что они оба попали на пересадку костного мозга и потом должны были уйти на другую кафедру, заниматься лазерами. Я хочу сказать, что сегодняшняя работа показывает, какие тонкие эффекты теперь изучаются физиками нейтронщиками. Я в своё время ушел от этого и попал к Векслеру и уже нейтронами как таковыми уже не занимался. Но видно как за эти годы произошёл очень большой прогресс в изучении самых тонких эффектов, поэтому я целиком поддерживаю, прежде всего, диссертанта и считаю, что работа весьма интересна и заслуживает высокой оценки. Спасибо.

Малахов А.И.: Спасибо, Виктор Викторович. Так еще есть желающие? Я тоже скажу два слова. На меня диссертация тоже произвела очень хорошее впечатление. Это такая, действительно сложная техническая задача с использованием новых идей и полностью соответствует специальности 01.04.01. Более того, очень здорово, что с помощью этой системы удастся получать спектры вторичных нейтронов, которые могут быть регулируемые. Особенно это важно для тех, кто проводит измерение по времени жизни детекторов для ЛНС в частности. Сейчас на ЛНС остановка и проводится апгрейд детекторов, которые страдают от нейтронов, теряют прозрачность сцинтилляторы. Все это требует изучения с помощью нейтронных источников. Спасибо руководству ЛНФ, Валерию Николаевичу, который здесь присутствует, что они нам помогают в этом, предоставляют время, и мы имеем возможность проводить такие измерения. А вот, то что касается регулирования спектров, это очень важно, потому, что можно подгонять спектр под те условия, которые существуют на ЛНС и испытывать детекторы в реальных условиях, с реальными спектрами которые есть. Поэтому я тоже очень сильно поддерживаю эту диссертацию и призываю вас тоже проголосовать положительно.

Булавин М.В.: Я хочу сказать, что работа прекрасная и Константина Александровича я знаю давно, мы с ним эту работу начинали. Объем этой работы и её ценность, а главное Константин Александрович заслуживает присуждения степени кандидата технических наук. Хочу отметить, что впереди еще много работы, как сказал Сергей Валентинович, это компактный источник DARIA, который сейчас получил грант РФФИ и в том числе, группа которая в ЛНФ привлечена. Это новый источник нейтронов, который будет по-

строен в ЛНФ и ОИЯИ и наша дружная семья будет учувствовать в создании этих замедлителей. Поэтому я надеюсь, диссертация будет защищена, а дальше еще очень много работы. Я хочу пожелать удачи, терпения и большой работоспособности соискателю. Спасибо.

Малахов А.И.: Спасибо. Кто хотел, все сказал. Переходим к заключительному слову соискателя. Константин Александрович, Вам слово.

Мухин К.А.: В заключение я хочу сказать большое спасибо всему коллективу, который занимается разработкой источника, хочу сказать спасибо своему научному руководителю – Николаю Николаевичу Агапову, который мне сильно помог в формулировках, структуре работы. Помог собрать все накопленные данные в логичную структуру. Хочу поблагодарить членов диссертационного совета, председателя, Валентина Александровича Арефьева, который помог собрать все необходимые документы, оппонентам, которые нашли время прочитав довольно объемный текст и далее я хочу поблагодарить директора Лаборатории Швецова Валерия Николаевича, который поддерживает этот проект, Егора Лычагина, который всегда готов рассказать о методиках и идее каждого эксперимента. Хочу поблагодарить Белякова Александра Анатольевича, который является моим непосредственным руководителем, за то, что в какой-то момент он дал молодому специалисту работать самостоятельно. Я сам являюсь руководителем и понимаю, насколько важно передавать определенную ответственность на подчинённых, это помогает им развиваться. Хочу сказать спасибо главному инженеру ЛНФ Виноградова Александра Витальевича, всегда поддерживал мои поездки на международные конференции, в научные центры. Это помогает получить дополнительный опыт и знания, которые можно перенести на свою работу, а так же её организацию. Хочу поблагодарить Куликова Сергея Александровича, который привлек меня к работе на совещаниях МАГАТЭ и также он является одним из главных руководителей всего этого проекта. Хочу поблагодарить свою группу механиков, инженеров и без хороших рабочих рук, токарей, сварщиков у нас бы ничего не получилось. Также хочу сказать, что некоторые участники проекта как Любимцев Александр Андреевич и Ананьев Владимир Дмитриевич ушли и не дождалась окончания проекта, но они сделали огромный вклад и в моё становление как личности и ученого, так и в проект. Низкий им поклон. И я бесконечно благодарен своим родителям за неоценимую поддержку и участие.

Малахов А.И.: Спасибо. Избираем счетную комиссию. Предлагаем Бориса Владимировича Батюню, Геннадия Николаевича Тимошенко и Валентина Александровича Арефьева. Кто «за», кто «против», кто «воздержался». Единогласно «за». Пока счетная комиссия приступает к работе, я предлагаю прочитать проект заключения диссертационного совета и если есть замечания и дополнения высказаться.

Ужинский В.В.: Предлагаю заменить слово «дефрагментация» на «разрушение».

Малахов А.И.: Слово счетной комиссии.

Арефьев В.А.: Уважаемые члены совета, прошу голосовать.

Малахов А.И.: Счетная комиссия закончила работу. Слово председателю счетной комиссии, Борис Владимирович, пожалуйста.

Батюня Б.В.: Дорогие коллеги, комиссия кончила свою работу. Комиссия по подсчету голосов при тайном голосовании по диссертации Мухина Константина Александровича на соискание ученой степени кандидата технических наук. Состав диссертационного совета 31 человек, дополнительно введенных нет. Присутствовало 25 членов совета, в том числе по профилю диссертации 6. Роздано бюллетеней 25, осталось не роздано 6, оказалось в урне бюллетеней 25. Результаты голосования по вопросу присуждения ученой степени кандидата технических наук Мухину Константину Александровичу «за» 25, «против» нет, «недействительных» нет.

Малахов А.И.: Необходимо утвердить протокол. Кто «за»? Кто «против»? Нет. Кто «воздержался»? Нет. «За» единогласно. Проект заключения мы обсудили и приняли. Поздравляем Константина Александровича Мухина с успешной защитой. Объявляю заседание закрытым.

Председатель диссертационного совета,
доктор физ-мат. наук, профессор



Малахов

Малахов А.И.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат физ-мат. наук

Арефьев

Арефьев В.А.

« 5 » июня 2019 года