

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.162.02, СОЗДАННОГО  
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ им. Г.И. БУДКЕРА  
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК,  
подведомственного Минобрнауки России, по диссертации  
на соискание ученой степени кандидата физико-  
математических наук

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 08.04.2022 № 5

О присуждении Касатову Дмитрию Александровичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Исследование материалов нейтроногенерирующей мишени для бор-нейтронозахватной терапии» по специальности 1.3.18. Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника принята к защите 03.02.2022 (протокол заседания № 2) диссертационным советом 24.1.162.02, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук, подведомственного Минобрнауки России, 630090, г. Новосибирск, проспект академика Лаврентьева, д. 11, приказ о создании диссертационного совета № 105/нк от 11.04.2012.

**Соискатель** Касатов Дмитрий Александрович, «7» сентября 1989 года рождения, работает научным сотрудником в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук, подведомственного Минобрнауки России.

В 2012 году соискатель окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет», а в 2015 году – аспирантуру Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет».

Диссертация выполнена в лаборатории 9-0 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук, подведомственного Минобрнауки России.

**Научный руководитель** – доктор физико-математических наук, Таскаев Сергей Юрьевич, главный научный сотрудник лаборатории 9-0 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук, подведомственного Минобрнауки России.

### **Официальные оппоненты:**

1. Матвеев Андрей Трофимович – кандидат физико-математических наук, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», научно-исследовательская лаборатория «Неорганические наноматериалы», старший научный сотрудник;
  2. Скалыга Вадим Александрович – доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук», заместитель директора по научной работе
- дали **положительные отзывы** на диссертацию.

**Ведущая организация** Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук, г. Томск, в своем положительном отзыве, подписанном **Юшковым Георгием Юрьевичем**, доктором технических наук, старшим научным сотрудником, главным научным сотрудником лаборатории плазменных источников, указала, что диссертация Касатова Дмитрия Александровича на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук является научно-квалификационной работой, выполненной на высоком научном уровне, в которой содержится решение научной задачи, заключающейся в исследовании процессов блистерообразования, измерении сечений ядерных реакций, изучении генерации излучения в поверхности материала мишени протонного генератора нейtronов, имеющей значение для развития отрасли знаний Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника. Диссертационная работа Касатова Дмитрия Александровича "Исследование материалов нейtronогенерирующей мишени для бор-нейtronозахватной терапии" полностью соответствует требованиям и критериям пунктов 9 и 10 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842 (с учетом всех последующих редакций), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.18. Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

Соискатель имеет 24 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации опубликовано 9 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 5 работ. Работы посвящены изучению процессов, происходящих при взаимодействии протонного пучка с нейtronогенерирующей мишенью. Авторский вклад соискателя является определяющим. Сведения об опубликованных работах изложены в диссертации достоверно. На основе предложенного метода измерения поглощенной дозы получен патент Российской Федерации на изобретение № 2709682. Основные результаты по теме диссертации опубликованы в следующих работах:

1. **Д.А. Касатов, А.Н. Макаров, С.Ю. Таскаев, И.М. Щудло.** Излучение при поглощении протонов с энергией 2 МэВ в различных материалах. Ядерная физика 78(11) (2015) 963-969.

2. D. Kasatov, A. Makarov, I. Shchudlo, S. Taskaev. A study of gamma-ray and neutron radiation in the interaction of a 2 MeV proton beam with various materials. *Applied Radiation and Isotopes* 106 (2015) 38-40.
3. О.Ю. Волкова, Л.В. Мечетина, А.В. Таранин, А.А. Заборонок, К. Nakai, С.И. Лежнин, С.А. Фролов, **Д.А. Касатов**, А.Н. Макаров, И.Н. Сорокин, Т.В. Сычева, И.М. Щудло, С.Ю. Таскаев. Влияние нейтронного излучения на жизнеспособность опухолевых клеток, культивированных в присутствии изотопа бора  $^{10}\text{B}$ . *Вестник рентгенологии и радиологии* 97(5) (2016) 283-288.
4. A. Badruttinov, T. Bykov, S. Gromilov, Y. Higashi, **D. Kasatov**, I. Kolesnikov, A. Koshkarev, A. Makarov, T. Miyazawa, I. Shchudlo, E. Sokolova, H. Sugawara, S. Taskaev. *In situ* observations of blistering of a metal irradiated with 2-MeV protons. *Metals* 7(12) (2017) 558.
5. S. Taskaev, T. Bykov, **D. Kasatov**, Ia. Kolesnikov, A. Koshkarev, A. Makarov, S. Savinov, I. Shchudlo, E. Sokolova. Measurement of the  $^7\text{Li}(\text{p},\text{p}'\gamma)^7\text{Li}$  reaction cross-section and 478 keV photon yield from a thick lithium target at proton energies from 0.65 MeV to 2.225 MeV. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms* 502 (2021) 85-94.

На автореферат поступили два положительных отзыва: первый из них подписан Громиловым Сергеем Александровичем, доктором физико-математических наук, главным научным сотрудником лаборатории кристаллохимии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института неорганической химии им. А.В. Николаева Сибирского отделения Российской академии наук. В отзыве приводится краткий обзор содержания автореферата, отмечается научная новизна и актуальность работы. В отзыве указано, что автореферат написан логично и лаконично, результаты работы доложены на многочисленных российских и международных конференциях. Отзыв содержит ряд замечаний, не носящих принципиального характера и не снижающих высокой научной ценности диссертации и общей положительной оценки. В заключении отмечается, что диссертационная работа «Исследование материалов нейтроногенерирующей мишени для бор-нейтронозахватной терапии» соответствует требованиям ВАК, представляемым к кандидатским диссертациям, а сам Касатов Дмитрий Александрович заслуживает присвоения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.18. Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

Второй отзыв предоставлен Бессмельцевым Виктором Павловичем, кандидатом технических наук, ведущим научным сотрудником лаборатории лазерной графики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института автоматики и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук. В отзыве подчеркнута приоритетность полученных результатов и их новизна, актуальность и практическая важность работы. Отзыв содержит ряд замечаний, которые в полной мере не касаются качества диссертационного исследования и не влияют на общую высокую оценку исследования. В заключении отмечается, что автореферат диссертационного исследования Касатова Дмитрия Александровича на тему «Исследование материалов

нейтроногенерирующей мишени для бор-нейтронозахватной терапии» удовлетворяет предъявляемым требованиям ВАК, а автор заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.18. Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации** обосновывается известностью их достижений в области физики пучков заряженных частиц и их взаимодействия с мишенями, их компетентностью, наличием публикаций по теме защищаемой диссертации и способностью определить научную и практическую значимость диссертационного исследования, а также дать рекомендации по использованию полученных результатов.

**Диссертационный совет отмечает**, что на основании выполненных соискателем исследований:

**Измерена** мощность дозы рентгеновского и гамма-излучения при поглощении 2 МэВ протонов в различных конструкционных материалах.

**Измерены** сечение реакции  $^7\text{Li}(\text{p},\text{p}'\gamma)^7\text{Li}$  и выход 478 кэВ гамма-квантов из толстой литиевой мишени при энергии протонов от 0,65 до 2,225 МэВ. **Определено**, во сколько раз применение тонкой литиевой мишени по сравнению с толстой уменьшает нежелательный для БНЗТ поток 478 кэВ фотонов из реакции  $^7\text{Li}(\text{p},\text{p}'\gamma)^7\text{Li}$  без уменьшения потока нейtronов.

**Осуществлено** *in-situ* наблюдение динамики образования блистеров на поверхности меди и tantalа при имплантации 2 МэВ протонов.

**Установлено**, что порог образования блистеров на поверхности меди зависит от чистоты меди, в более чистой меди он больше. Максимальное значение порога составляет величину  $3 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-2}$ , минимальное в 7 раз меньше. Размер блистеров на поверхности меди зависит от чистоты меди, в более чистой блистеры больше. Размер блистеров варьируется от  $40 \pm 20$  до  $160 \pm 50$  мкм.

**Установлено**, что tantal значительно более устойчив к образованию блистеров, чем медь. Порог образования блистеров в виде пузырей или чешуек на поверхности tantalа превышает  $6,7 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-2}$ . При флюенсе  $3,6 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-2}$  происходит модификация поверхности в виде рельефа с размером ячеек 1 мкм.

**Теоретическая значимость** исследования обоснована тем, что:

впервые **выполнено** детальное исследование динамики образования блистеров на поверхности меди и tantalа при их облучении 2 МэВ протонами;

полученные данные о сечении реакции  $^7\text{Li}(\text{p},\text{p}'\gamma)^7\text{Li}$  и о выходе 478 кэВ фотонов из толстой литиевой мишени **внесены** в экспериментальные базы данных ядерных реакций IBANDL и EXFOR.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:**

внесенные изменения в конструкцию мишенного узла **позволили** в 20 раз уменьшить наведенную радиоактивность до уровня радиоактивности бериллия-7, неизбежно образующегося в реакции генерации нейtronов;

полученные знания **применены** при изготовлении литиевой мишени ускорительного источника нейtronов для БНЗТ центра в Сямье (Китай) и **применяются** при изготовлении литиевой мишени ускорительного источника нейtronов для Национального медицинского исследовательского центра онкологии им. Н.Н. Блохина в Москве (Россия).

**Оценка достоверности результатов исследования** выявила, что полученные результаты подтверждаются их сравнением с доступными экспериментальными результатами и качественным, и количественным совпадением с результатами расчетов.

**Личный вклад соискателя** состоит в непосредственном участии соискателя в постановке задачи, в подготовке и проведении экспериментальных исследований, в освоении и применении спектрометров гамма-излучения и активационной методики, в обработке и анализе экспериментальных данных, в проведении численного моделирования и расчетов, в подготовке публикаций и в личном участии в апробации результатов исследования.

В ходе защиты диссертации д.ф.-м.н. В.В. Кубарев задал вопрос о том, использует ли кто жидкий литий для этой цели, д.ф.-м.н., академик РАН А.Е. Бондарь задал вопрос о том, каким образом блистеринг мешает работе и наблюдались ли эффекты перегрева, а также поинтересовался тем, что определило систематическую ошибку при измерении сечения неупругого рассеяния протона на атомном ядре лития, д.ф.-м.н. О.И. Мешков попросил уточнить какой именно изотоп калия регистрируют в спектре излучения, испускаемого лабораторным животным после облучения нейtronами, д.ф.-м.н., академик РАН В.В. Пархомчук поинтересовался мощностью пучка протонов и мощностью требуемого чиллера, д.ф.-м.н., профессор, академик РАН И.Н. Мешков задал вопрос о температуре мишени.

Соискатель Касатов Д.А. развернуто ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию, обосновав свою точку зрения.

На заседании 08.04.2022 диссертационный совет принял решение:

за решение научной задачи исследования материалов нейтроногенерирующей мишени для бор-нейтронозахватной терапии, имеющей значение для развития физики пучков заряженных частиц и ускорительной техники,

присудить **Касатову Дмитрию Александровичу** ученую степень **кандидата физико-математических наук.**

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за – «19», против – «0».

Заместитель председателя диссертационного совета 24.1.162.02

д.ф.-м.н., академик РАН / Пархомчук Василий Васильевич /

Ученый секретарь диссертационного совета 24.1.162.02,

д.ф.-м.н.

/ Багрянский Петр Андреевич /

11.04.2022

