

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 НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 07.12.2022 № 20

О присуждении **Соколовой Евгении Олеговне**, гражданке Российской Федерации, ученой степени **кандидата физико-математических наук**.

Диссертация «**Исследование и оптимизация тонкой литиевой мишени для генерации нейтронов**» по специальности **1.3.18. Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника** принята к защите 28.09.2022 (протокол заседания № 14) 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 Соколова Евгения Олеговна, «25» марта 1994 года рождения, работает младшим научным сотрудником в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук, подведомственном Минобрнауки России.

В 2018 году соискатель окончила Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет», а в 2022 году – аспирантуру Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего 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 сектора 9-21 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

1. Окс Ефим Михайлович – доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники», заведующий кафедрой физики;
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 Международная межправительственная организация «Объединенный институт ядерных исследований», г. Дубна, в своем положительном отзыве, подписанном Швецовым Валерием Николаевичем, кандидатом физико-математических наук, директором Лаборатории нейтронной физики им. И.М. Франка, и Сумбаевым Анатолием Павловичем, доктором технических наук, начальником Научно-экспериментального отдела ускорительных систем Лаборатории физики высоких энергий, указала, что диссертация Соколовой Евгении Олеговны на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук является научно-исследовательской работой, выполненной на высоком научном уровне, в которой содержится решение научной задачи создания литиевой мишени для длительной стабильной генерации нейтронов. Диссертация Соколовой Евгении Олеговны «Исследование и оптимизация тонкой литиевой мишени для генерации нейтронов» представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, соответствующую требованиям и критериям, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, установленным в п. 9 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842, а её автор, Соколова Евгения Олеговна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.18. Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

Соискатель имеет 60 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 15 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 6 работ. Работы посвящены изучению процессов, происходящих при взаимодействии протонного пучка с нейтроногенерирующей мишенью. Для защиты интеллектуальной собственности на тонкую литиевую мишень, стойкую к радиационному блистерингу, получен патент на изобретение:

United States Patent № US 2022/0030696 A1, Int. Cl. H05H 6/00 (2006.01), U.S. Cl. CPC H05H 6/00 (2013.01), A61N 2005/109 (2013.01). Systems, devices, and methods for deformation reduction and resistance in metallic bodies : № 17/383,188 : заявл. 22.07.2021 : опубл. 27.01.2022 / Taskaev S. Y., Makarov A. N., Sokolova E. O.; заявитель TAE Technologies, Inc., 3 Foothill Ranch, CA (US). – 15 p. : ил. – Текст : непосредственный.

Основные результаты по теме диссертации опубликованы в следующих работах:

1. In Situ Observations of Blistering of a Metal Irradiated with 2-MeV Protons / A. Badrutdinov, T. Bykov, S. Gromilov [et al.]. – Текст : электронный // Metals. –

2017. – Vol. 7, nr 12. – P. 558. – URL: <https://doi.org/10.3390/met7120558>. – Дата публикации: 12.12.2017.
2. In situ study of the blistering effect of copper with a thin lithium layer on the neutron yield in the ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$ reaction / T. Bykov, N. Goloshevskii, S. Gromilov [et al.]. – Текст : электронный // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. – 2020. – Vol. 481. – P. 62–81. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2020.08.010>. – Дата публикации: 29.09.2020.
 3. Method for in situ measuring the thickness of a lithium layer / D. Kasatov, Ia. Kolesnikov, A. Koshkarev [et al.]. – Текст : электронный // Journal of Instrumentation. – 2020. – Vol. 15. – P. 10006. – URL: <https://doi.org/10.1088/1748-0221/15/10/P10006>. – Дата публикации: 12.10.2020.
 4. Measurement of the ${}^7\text{Li}(p,p'\gamma){}^7\text{Li}$ reaction cross-section and 478 keV photon yield from a thick lithium target at proton energies from 0.7 to 1.85 MeV / T. Bykov, D. Kasatov, Ia. Kolesnikov [et al.]. – Текст : электронный // Applied Radiation and Isotopes. – 2021. – Vol. 175. – P. 109821. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2021.109821>. – Дата публикации: 09.06.2021.
 5. Makarov, A. N. The Luminescence of a Lithium Target under Irradiation with a Proton Beam / A. N. Makarov, E. O. Sokolova, S. Yu. Taskaev. – Текст : электронный // Instruments and Experimental Techniques. – 2021. – Vol. 64, nr 1. – P. 24–27. – URL: <https://doi.org/10.1134/S0020441220060184>. – Дата публикации: 25.02.2021.
 6. Sokolova, E. O. Diagnostics of the Proton Beam Position Using the Luminescence of a Lithium Neutron-Generating Target / E. O. Sokolova, A. N. Makarov, S. Yu. Taskaev. – Текст : электронный // Proceedings of the XXVII Russian Particle Accelerator Conference (Alushta, 26 September – 2 October 2021). – Geneva, Switzerland, 2021. – P. 396–398. – URL: <https://doi.org/10.18429/JACoW-RuPAC2021-WEPSC29>. – Дата публикации: 03.10.2021.

Вклад соискателя ученой степени в работы по теме диссертации является определяющим. В диссертации соискателя ученой степени Соколовой Е.О. отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных ей работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. От официального оппонента Окса Ефима Михайловича, доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой физики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники». В отзыве приводится краткий обзор содержания диссертации, подчеркиваются актуальность исследования, научная новизна и достоверность полученных результатов, а также практическая значимость использования твердотельной напыляемой литиевой мишени для генерации потоков нейтронов в ускорителях протонов для бор-нейтронозахватной терапии. В отзыве имеются замечания по диссертационной работе, носящие рекомендательный характер и не снижающие общей положительной оценки работы. В заключении отмечается, что диссертационная работа полностью соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации

от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Соколова Евгения Олеговна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.18. Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

2. От официального оппонента Скалыги Вадима Александровича, доктора физико-математических наук, заместителя директора по научной работе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук». В отзыве описываются актуальность работы, научная новизна и значимость полученных результатов, обоснованность и достоверность научных положений и выводов. В отзыве указано, что значимых замечаний к диссертационной работе нет. В заключительной части отмечено, что диссертация является научно-квалификационной работой, в которой получены результаты, совокупность которых можно квалифицировать как решение важных научных проблем, связанных с разработкой источников нейтронов на основе ускорителей заряженных частиц и их применения для терапии онкологических заболеваний методом БНЗТ.
3. На автореферат поступил положительный отзыв, подписанный Громиловым Сергеем Александровичем, доктором физико-математических наук, заведующим лабораторией 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 отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Отзыв содержит одно замечание относительно введенного понятия «аморфная» медь, которое, однако, не несет принципиальный характер и не снижает высокую научную ценность диссертации и общую положительную оценку. В заключении отмечается, что диссертационная работа «Исследование и оптимизация тонкой литиевой мишени для генерации нейтронов» соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а сама Соколова Евгения Олеговна заслуживает присуждения ученой 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:

разработана концепция тонкой литиевой мишени для длительной стабильной генерации нейтронов,

предложены и реализованы новые методы измерения и контроля положения и размера пучка протонов на поверхности литиевой мишени по регистрации люминесценции под действием протонов и измерения толщины литиевого слоя сравнением интенсивности излучения 478 кэВ фотонов в реакции ${}^7\text{Li}(p,p'\gamma){}^7\text{Li}$ из исследуемого литиевого слоя и из толстого,

установлено, что радиационный блистеринг меди не приводит к деградации выхода нейтронов из тонкой литиевой мишени, и что водород, доставленный пучком протонов в приповерхностный слой меди, не вступает в химическое соединение с литием, что могло бы приводить к падению выхода нейтронов,

доказана перспективность использования тонкой литиевой мишени для эффективной генерации нейтронов,

введены измененные трактовки старых понятий о губительном влиянии радиационного блистеринга на выход нейтронов.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны положения, расширяющие представления о взаимодействии пучка заряженных частиц с мишенями,

применительно к проблематике диссертации результативно, то есть с получением обладающих новизной результатов, **использован** широкий набор самого современного передового экспериментального оборудования и диагностических методик, в том числе предложенных и разработанных,

изложены аргументы и доказательства высказанных предположений и гипотез,

раскрыты противоречия в представлениях о влиянии радиационного блистеринга на эффективность генерации нейтронов,

впервые детально **изучено** влияние радиационного блистеринга меди на генерацию нейтронов из тонкой литиевой мишени,

оптимизирована система напыления лития для получения однородного литиевого слоя.

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

разработана и внедрена новая методика измерения толщины литиевого слоя, позволившая оптимизировать стенд напыления для получения однородного по толщине литиевого слоя,

разработанная тонкая литиевая мишень, стойкая к радиационному блистерингу и однородная по толщине, **используется** для лечения онкологических больных в первой клинике БНЗТ в Китае и **будет использована** для лечения больных в НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина в Москве.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что результаты получены на современном оборудовании, подтверждены использованием нескольких методик и показана их воспроизводимость. Полученные результаты подтверждаются качественным и количественным совпадением с результатами расчетов.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в экспериментальных исследованиях по изучению влияния радиационного блистеринга меди на выход нейтронов из литиевого слоя, нанесенного на медь.

Автор лично производил напыление литиевого слоя требуемой толщины на исследуемые образцы, проводил исследование образцов на сканирующем профилометре с конфокальными хроматическими сенсорами, готовил образцы и исследовал их микроструктуру на растровом электронном микроскопе. При ключевом участии автора исследована люминесценция поверхности литиевой мишени под действием протонов и разработана методика измерения положения и размера пучка протонов на поверхности литиевой мишени. Автором предложен и реализован оригинальный *in situ* метод неразрушающего измерения толщины лития. Автором модифицирована система напыления лития для получения однородного по толщине литиевого слоя. Автор лично участвовал в апробации результатов и готовил соответствующие разделы в опубликованных статьях.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания. Председателем диссертационного совета, д.ф.-м.н. П.А. Багрянским был задан вопрос о прогнозируемом и достигнутом сроке службы литиевой мишени; чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н. Ю.М. Шатунов попросил уточнить о количестве опубликованных работ и вкладе соискателя в них; академик РАН, д.ф.-м.н. Г.Н. Кулипанов задал вопрос о зависимости оптимальной толщины лития на мишени от интенсивности облучения и сделал замечание о некорректности безапелляционного заявления о бессрочной мишени; д.ф.-м.н. А.Ф. Бузулуцков (дистанционно) спросил о люминесценции лития и изучении механизмов ее возникновения; академик РАН, д.ф.-м.н. Бондарь поинтересовался, чем подкрепляется предложенная модель образования блистеров, и задал вопрос об аппроксимации экспериментальных данных и точности определения коэффициентов аппроксимирующей функции; профессор, д.ф.-м.н. А.В. Аржанников задал вопрос про интерпретацию результатов исследований на монокристалльном дифрактометре; заместитель директора по научной работе по ускорительному направлению Федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», д.т.н. Т.В. Кулевой попросил уточнить, какое программное обеспечение используется для оценки толщины лития и оценки величины $d_{ра}$, и задал уточняющий вопрос про побочное излучение литиевой мишени.

Соискатель Соколова Е.О. согласилась с замечаниями, ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы и привела собственную аргументацию, обосновав свою точку зрения.

Диссертация Соколовой Е.О. «Исследование и оптимизация тонкой литиевой мишени для генерации нейтронов» соответствует всем критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, установленным в Положении о присуждении ученых степеней, утвержденном постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842 с изменениями и дополнениями от 20 марта 2021 года № 426.

На заседании 07.12.2022 диссертационный совет принял решение:

за решение научной задачи исследования и оптимизации тонкой литиевой мишени для генерации нейтронов, имеющей значение для развития физики пучков заряженных частиц и ускорительной техники, присудить **Соколовой Е.О.** ученую степень **кандидата физико-математических наук.**

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 5 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации,

