

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 01.07.2026 № 9

О присуждении **ШЕЙН ТАТЬЯНЕ ВИКТОРОВНЕ**, ГРАЖДАНКЕ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ученой степени кандидата физико-математических
наук.

Диссертация «**Оптимизация системы формирования пучка нейтронов для бор-нейтронозахватной терапии**» по специальности **1.3.18. Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника** принята к защите 10.04.2026 (протокол заседания № 4) 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 Шейн Татьяна Викторовна, «24» февраля 1988 года рождения, работает научным сотрудником в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук, подведомственном Минобрнауки России.

В 2011 году соискатель окончила магистратуру Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования Новосибирского государственного технического университета (НГТУ) по направлению «Физика», а в 2015 году – заочную аспирантуру НГТУ, кафедра электрофизических установок и ускорителей.

Диссертация выполнена в секторе 9-21 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. Войтишек Антон Вацлавович – доктор физико-математических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук, лаборатория стохастических задач, главный научный сотрудник;

2. Дегтярёв Игорь Иванович – кандидат физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение Институт физики высоких энергий им. А. А. Логунова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», лаборатория физики пучков и ускорителей Отдела экспериментального комплекса ионной лучевой терапии, старший научный сотрудник

дали **положительные** отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук» (ИПФ ПАН), г. Нижний Новгород, в своем положительном отзыве, подписанном Скальгой Вадимом Александровичем, доктором физико-математических наук, заместителем директора по научной работе ИПФ РАН, Голубевым Сергеем Владимировичем, доктором физико-математических наук, руководителем научного направления «Физика плазмы» и Денисовым Григорием Геннадьевичем, доктором физико-математических наук, академиком РАН, Врио директора ИПФ РАН, указала, что диссертация Шейн Т.В. является научно-квалификационной работой, в которой получены важные результаты, имеющие принципиальную значимость для развития ускорительных источников нейтронов и их применения для бор-нейтронозахватной терапии онкологических заболеваний. Диссертационная работа Т.В. Шейн «Оптимизация системы формирования пучка нейтронов для бор-нейтронозахватной терапии» полностью соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.18. Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

Соискатель имеет 71 опубликованную работу, в том числе по теме диссертации опубликовано 10 работ в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК. Основные результаты по теме диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Система формирования пучка нейтронов для бор-нейтронозахватной терапии / Л. Зайди, Е.А. Кашаева, С.И. Лежнин, ...Т.В. Сычева [и др.]. – Текст : электронный // Ядерная физика. – 2017. – Том 80, № 1. – Стр. 63-69. – URL: <https://doi.org/10.7868/S0044002717010160>. – Дата публикации: 20.04.2017.
2. Accelerator-based boron neutron capture therapy for malignant glioma: a pilot neutron irradiation study using boron phenylalanine, sodium borocaptate and liposomal borocaptate with a heterotopic U87 glioblastoma model in SCID mice / E. Zavjalov, A. Zaboronok, V. Kanygin, ...Т. Sycheva [et al.]. – Текст : электронный // International Journal of Radiation Biology. – 2020. – Vol. 96, nr 7. – P. 868-878. – URL: <https://doi.org/10.1080/09553002.2020.1761039>. – Дата публикации: 12.04.2020.
3. Method of measuring high-LET particles dose / M. Dymova, M. Dmitrieva, E. Kuligina, ...Т. Sycheva [et al.]. – Текст : электронный // Radiation Research. – 2021. – Vol. 196. – P. 192-196. – URL: <https://doi.org/10.1667/RADE-21-00015.1>. – Дата публикации: 01.04.2021.

4. Gold Nanoparticles Permit In Situ Absorbed Dose Evaluation in Boron Neutron Capture Therapy for Malignant Tumors / A. Zaboronok, S. Taskaev, O. Volkova, ...Т. Sycheva [et al.]. – Текст : электронный // *Pharmaceutics*. – 2021. – V. 13. – Art. no. 1490. – URL: <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics13091490>. – Дата публикации – 16.10.2021.
5. Эффекты бор-нейтронозахватной терапии на рост подкожных ксенографтов колоректальной аденокарциномы человека SW-620 у иммунодефицитных мышей / В.В. Каныгин, А.И. Касатова, Е.Л. Завьялов, ... Т.В. Сычева [и др.]. – Текст : электронный // *Бюллетень экспериментальной биологии и медицины*. – 2021. – Том 172, № 9. – Стр. 356-361. – URL: <https://doi.org/10.47056/0365-9615-2021-172-9-356-361>. – Дата публикации: 09.2021.
6. Dose-dependent suppression of human glioblastoma xenograft growth by accelerator-based boron neutron capture therapy with simultaneous use of two boron-containing compounds / V. Kanygin, I. Razumov, A. Zaboronok. ...Т. Sycheva [et al.]. – Текст : электронный // *Biology*. – 2021. – Vol. 10. – Art. no. 1124. – URL: <https://doi.org/10.3390/biology10111124>. – Дата публикации: 02.10.2021.
7. Polymer-Stabilized Elemental Boron Nanoparticles for Boron Neutron Capture Therapy: Initial Irradiation Experiments / A. Zaboronok, P. Khaptakhanova, S. Uspenskii, ...Т. Sycheva [et al.]. – Текст : электронный // *Pharmaceutics*. – 2022. – Vol. 14. – Art. no. 761. – URL: <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics14040761>. – Дата публикации: 31.03.2022.
8. A single coned Poly-Biz moderator designed for animal irradiation in boron neutron capture therapy / T. Sycheva, E. Berendeev, G. Verkhovod [et al.]. – Текст : электронный // *Applied Radiation and Isotopes*. – 2023. – Vol. 198. – Art. no. 110818. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2023.110818>. – Дата публикации: 11.04.2023.
9. Система формирования пучка для бор-нейтронозахватной терапии поверхностных опухолей с замедлителем из материалов на основе оргстекла/ Т.В. Сычева, Е.А. Берендеев, Г.Д. Верховод [и др.]. – Текст : электронный // *Сибирский физический журнал*. – 2023. – Том 18, № 3. – Стр. 31-42. – URL: <https://doi.org/10.25205/2541-9447-2023-18-3-31-42>. – Дата публикации: 16.11.2023.
10. Beam Shaping Assembly of the VITA Accelerator-Based Neutron Source/ T. Shein, E. Berendeev, V. Degtyarev [et al.]. – Текст : электронный // *Physics of Particles and Nuclei Letters*. – 2025. – Vol.22, No 4. – P. 842-846. – URL: <https://doi.org/10.1134/S1547477125700700>. – Дата публикации: 11.08.2025.

Личный вклад автора в получении научных результатов, лежащих в основе диссертации, является определяющим. Автором лично доработан код статистического моделирования переноса нейтронов NMC, а именно, добавлен функционал для расчёта дозы, расширен геометрический блок, архитектура кода доработана для поддержки более одного типа частиц, реализована физика образования фотонов в нейтронных реакциях и их переноса, также реализован источник нейтронов в реакции ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$ с использованием рекомендованных ядерных данных библиотеки ENDF-VII.0. При содействии автора добавлен блок для обработки рассеяния тепловых нейтронов.

Вклад соискателя в 1 статью заключается в определении методом численного моделирования переноса нейтронов и γ -излучения оптимального для БНЗТ диапазона энергии нейтронов, энергии протонов, размера и материала замедлителя, размера и материала отражателя.

Вклад соискателя в статьи 2, 5, 6 и 7 заключается в проведении моделирования спектра нейтронов и фотонов, дозовых распределений и определении режима генерации нейтронов, результаты которых использованы при планировании ряда успешно проведенных научных исследований с клеточными культурами, лабораторными животными и крупными домашними животными со спонтанными опухолями.

Вклад соискателя в 3 статью заключается в проведении моделирования спектра нейтронов и фотонов, дозовых распределений и в выборе режима генерации нейтронов, результаты которых использованы при разработке и применении предложенного «клеточного» дозиметра для измерения суммы дозы быстрых нейтронов и азотной дозы.

Вклад соискателя в 4 статью заключается в проведении численного моделирования переноса нейтронов и гамма-излучения с целью определения активации атомных ядер золота, которыми мечен препарат адресной доставки бора, для реализации прямого метода измерения борной дозы.

Вклад соискателя в статьи 8 и 9 заключается в предложении использовать висмут в составе замедлителя для улучшения качества пучка нейтронов и в оптимизации системы формирования пучка нейтронов с водородосодержащим замедлителем с объёмным вкраплением висмута методом численного моделирования переноса нейтронов и γ -излучения для терапии поверхностных опухолей и для проведения научных исследований с клеточными культурами и лабораторными животными.

Вклад соискателя в 10 статью заключается в оптимизации системы формирования пучка нейтронов с замедлителем из кристаллов фторида магния, поставленной в составе ускорительного источника нейтронов ВИТА в НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина Минздрава России в Москве для проведения клинических испытаний методики БНЗТ и последующего лечения.

В диссертации соискателя ученой степени Шейн Т.В. отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных им работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. От официального оппонента Войтишека Антона Вацлавовича, доктора физико-математических наук, профессора, главного научного сотрудника лаборатории стохастических задач Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук. В отзыве представлен обзор диссертационной работы, подчеркивается актуальность темы исследования, научная новизна и практическая значимость полученных результатов. В отзыве отмечено, что диссертационная работа Т. В. Шейн написана ясным, доступным языком и содержит много удачных поясняющих схем и иллюстраций. Особо отмечено наличие оборудования, позволившее верифицировать расчёты. У

автора отзыва возникло одно общее замечание об отсутствии описания деталей и оценки трудоемкости проведенных расчётов. В заключительной части отзыва отмечен весьма высокий научный уровень диссертации. Результаты работы опубликованы в рецензируемых научных изданиях (10 статей) и представлены на целом ряде представительных научных форумов.

2. От официального оппонента Дегтярева Игоря Ивановича, кандидата физико-математических наук, старшего научного сотрудника лаборатории физики пучков и ускорителей Отдела экспериментального комплекса ионной лучевой терапии Федерального государственного бюджетного учреждения Института физики высоких энергий им. А. А. Логунова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт». В отзыве представлен обзор диссертационной работы, подчеркиваются актуальность темы исследования, научная новизна и практическая значимость полученных результатов. Отмечено, что диссертация Т.В. Шейн является законченным научным трудом, отличающимся подробным анализом требований к СФП, изучением свойств используемых материалов, геометрических параметров элементов, развитием диагностических методов и подтверждением клинической эффективности на основе большого количества исследований с клеточными культурами и лабораторными животными, позитивным результатом лечения домашних животных со спонтанными опухолями. Также отмечено, что результаты, изложенные в диссертации, безусловно, обладают новизной, качеством исследований мирового уровня и высокой научной значимостью в данной предметной области. Значимых замечаний к диссертационной работе не приведено, но выявлен ряд незначительных некорректностей и даны рекомендации по дальнейшему совершенствованию исследований. В заключительной части отзыва отмечено, что диссертационная работа Шейн Т.В. 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 методами БНЗТ.
3. На автореферат поступило два отзыва. Первый отзыв подписан Шапкиным Михаилом Михайловичем, доктором физико-математических наук, профессором РАН, ведущим научным сотрудником НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ. В отзыве отмечена актуальность, практическая значимость диссертационных исследований и личный вклад автора. Отмечено, что замечания, указанные в отзыве, не снижают общего впечатления от работы, а автор автореферата заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук. Второй отзыв подписан Комаровой Людмилой Николаевной, доктором биологических наук, профессором отделения биотехнологий Обнинского института атомной энергетики, филиал НИЯУ МИФИ. В отзыве отмечена актуальность темы исследования, выделены основные результаты диссертационной работы, отмечена достоверность полученных результатов. Несмотря на имеющиеся замечания, в том числе на краткость

описания биологической части, отмечено, что диссертационная работа соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, а Т.В. Шейн заслуживает присуждения учёной 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 предметной области, 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 и изготовлена система формирования пучка нейтронов с замедлителем из фторида магния и с составным отражателем из свинца и графита, которая при генерации нейтронов в реакции ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$ с энергией протонов 2,3 МэВ обеспечивает формирование нейтронного потока, пригодного для проведения бор-нейтронозахватной терапии злокачественных опухолей;

предложено для исследований по бор-нейтронозахватной терапии с использованием клеточных культур и лабораторных животных генерировать нейтроны в реакции ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$ при энергии протонов 2,05 МэВ и использовать водородосодержащий замедлитель (оргстекло, полиэтилен) с объёмным вкраплением висмута;

доказано, что добавленный в модифицированный код статистического моделирования переноса нейтронов NMC функционал расчёта дозы обеспечивает возможность планирования бор-нейтронозахватной терапии;

введено понятие терапевтического коэффициента, равного отношению «полезной» дозы к «вредной», удобного для анализа результатов моделирования при оптимизации системы формирования пучка нейтронов.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что определены оптимальный для БНЗТ диапазон энергии нейтронов, энергии протонов, размер и материал замедлителя, размер и материал отражателя, реализован функционал для расчёта дозы ионизирующего излучения при проведении исследований с клеточными культурами и лабораторными животными, при лечении домашних животных со спонтанными опухолями.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что по результатам численного моделирования переноса нейтронов и γ -излучения и проведенной оптимизации изготовлены и верифицированы системы формирования пучка нейтронов, в том числе для Национального медицинского исследовательского центра онкологии им. Н.Н. Блохина Минздрава России в Москве для проведения клинических испытаний методики БНЗТ и последующего лечения онкологических больных.

Оценка достоверности результатов исследования выявила что достоверность полученных результатов подтверждена большим количеством исследований с клеточными культурами и лабораторными животными, позитивным результатом лечения домашних животных со спонтанными опухолями, экспериментальным измерением компонент доз малогабаритным детектором с парой литевых полистирольных сцинтилляторов, один из которых обогащён бором. Анализ ряда результатов исследования показывает хорошее соответствие с теоретическими и экспериментальными данными, полученными другими авторами.

Личный вклад соискателя состоит в его определяющем участии на всех этапах работы: доработка кода статистического моделирования переноса нейтронов NMC для решения задач БНЗТ, моделировании спектров и дозовых распределений нейтронов и фотонов, используемых при планировании экспериментов, участии в сравнении измеренных результатов с расчетными, определении оптимального для БНЗТ диапазона энергии нейтронов, энергии протонов, размера и материал замедлителя, размера и материал отражателя, оптимизации системы формирования пучка нейтронов с замедлителем из кристаллов фторида магния и с отражателем из свинца и графита, в полной степени удовлетворяющей требованиям БНЗТ, обосновании целесообразности применения системы формирования пучка нейтронов с водородосодержащим замедлителем с объемным вкраплением висмута для терапии поверхностных опухолей и для проведения научных исследований с клеточными культурами и лабораторными животными, обработке и анализе полученных данных, подготовке публикаций и представлении результатов на международных и российских конференциях.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие замечания.

Председатель диссертационного совета, д.ф.-м.н. П.А. Багрянский спросил об эффективности коллимации пучка при применении коллиматора и насколько сильно уменьшается мощность дозы на выходе разных коллиматоров; д.ф.-м.н., профессор, академик РАН А. Е. Бондарь спросил о сравнении систем формирования пучка для терапии и клинических исследований по конструкции с разработанной СФП и поинтересовался статистическими и систематическими погрешностями расчётов; д.ф.-м.н., профессор А.В. Аржанников спросил как влияют модельные приближения на результаты расчётов; д.ф.-м.н. В. Е. Блинов поинтересовался фитированием результатов расчётов и спросил как учитываются примеси в материалах.

Соискатель Шейн Т.В. согласилась с замечаниями и ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы, приводя собственную аргументацию.

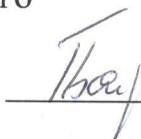
Диссертация Шейн Т.В. «Оптимизация системы формирования пучка нейтронов для бор-нейтронозахватной терапии» соответствует всем критериям, предъявляемым к диссертации на соискание учёной степени кандидата наук, установленным в Положении о присуждении учёных степеней, утвержденном постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842.

На заседании 01.07.2026 диссертационный совет принял решение: за решение научной задачи, имеющей значение для развития бор-нейтронозахватной

терапии злокачественных опухолей, присудить Шейн Т.В. учёную степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 4 доктора наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: «за» 14, «против» 0.

Председатель диссертационного
совета 24.1.162.02,
д.ф.-м.н.

 /Багрянский Петр Андреевич /

Ученый секретарь диссертационного
совета 24.1.162.02
д.ф.-м.н., профессор РАН



 /Лотов Константин Владимирович /

03.07.2026