



Book of Abstracts

**of the 8th All-Russian Conference of Young Scientists
on BNCT**

June 3-4, 2026, Novosibirsk, Russia

Editor Sergey Taskaev



Инфраструктура и перспективные технологии адронной терапии в НИЦ «Курчатовский институт»

И.Н. Завестовская

*Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»
Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН
email address: zavestovskayain@lebedev.ru*

Представлены основные направления развития адронной терапии в НИЦ «Курчатовский институт» на базе создания уникальной инфраструктуры российского производства – комплексов протонной и ионной терапии и биологического исследовательского стенда технологий бор-нейтронозахватной терапии на исследовательском реакторе ИР-8.

Технологии протонной терапии онкоофтальмологических заболеваний, необходимый спектр медицинского оборудования, систем планирования в НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ (Гатчина), технологии ионной терапии на базе ускорителя ионов углерода в НИЦ «Курчатовский институт» - ИФВЭ (Протвино), расширение возможностей протонной терапии и современных технологий на базе строящегося протонного синхротрона в НИЦ «Курчатовский институт» в Москве, а также вопросы перспективы развития бинарных технологий адронной терапии, включая бор-нейтронозахватные методы лечения и необходимое для этого оборудование и материалы.

Эти и другие вопросы современной адронной терапии, включая подготовку кадров, будут предложены вниманию слушателей.



Таргетирование препаратов для ядерной медицины

С.М. Деев

Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»

ГНЦ Институт биоорганической химии им. М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова РАН, Москва, Россия

НИЦ «Онкотераностика», Томск, Россия

email address: biomem@mail.ru

Селективность доставки терапевтического агента к целевым клеткам важна для снижения общей токсической нагрузки на организм. Мы предложили ряд подходов, основанных на многофункциональных структурах, которые сочетают адресные модули для распознавания опухолевых клеток и агенты для точной диагностики и эффективной терапии рака [1-7].

Для улучшения фармакокинетики, увеличения времени пребывания в крови и снижения накопления в почках малых целевых агентов нами использовано слияние адресного полипептида с доменом, связывающим альбумин. Это предотвращает быструю почечную экскрецию и высокую почечную реабсорбцию, что приводит к лучшему нацеливанию на опухоль.

На основе собственных результатов и анализа мировой литературы в докладе будут анонсированы ключевые направления развития радиофармацевтической отрасли, к которым в первую очередь следует отнести: таргетирование радиофармпрепаратов, таргетирование микроокружения опухолей, сочетанное применение технологий ядерной медицины с другими подходами противораковой терапии.

Список литературы

1. Zelepukin IV, Shevchenko KG, Deyev SM. Rediscovery of mononuclear phagocyte system blockade for nanoparticle drug delivery. *Nat Commun.* 2024;15(1):4366. doi:10.1038/s41467-024-48838-5
2. Streltsova MA, Boyko AA, Alekseeva NA, et al. Genetically modified NK cells equipped with a switchable CAR for the treatment of HER2-positive cancers. *Biochimie.* 2025;238(Pt B):30-42. doi:10.1016/j.biochi.2025.07.021
3. Tolmachev V, Vorobyeva A, Rosly AHB, et al. Targeting of epithelial cell adhesion molecule-expressing malignant tumors using an albumin-binding domain-fused designed ankyrin repeat protein: Effect of the molecular architecture. *Int J Mol Sci.* 2025;26(11):5236. doi:10.3390/ijms26115236
4. Belyaev IB, Griaznova OY, Yaremenko AV, et al. Beyond the EPR effect: Intravital microscopy analysis of nanoparticle drug delivery to tumors. *Adv Drug Deliv Rev.* 2025;219:115550. doi:10.1016/j.addr.2025.115550
5. Larkina M, Yanovich G, Hasnowo LA, et al. Comparative preclinical evaluation of the tumor-targeting properties of radioiodine and technetium-labeled designed ankyrin repeat proteins for imaging of epidermal growth factor receptor expression in malignant tumors. *Int J Mol Sci.* 2025, 26 (21) 10609. doi:10.3390/ijms262110609
6. Bragina OD, Nesynov AA, Sitnikova EY, et al. Targeted radionuclide detection of malignant tumors using affibody. *Acta Naturae.* 2025, 17 (4) 4–16. doi:10.32607/actanaturae.27677
7. Deyev S, Fominykh A, Varvashenya R, et al. The use of glycine-containing peptide-based chelators for labeling with ^{99m}Tc improves the imaging properties of EpCAM-targeting designed ankyrin repeat Ec1. *Mol Pharm.* 2026;23(4):2469-2480. doi: 10.1021/acs.molpharmaceut.5c01498



Бор-нейтронозахватная терапия в мире

С.Ю. Таскаев

*Институт ядерной физики СО РАН, Новосибирск, Россия
Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия
E-mail: taskaev@inp.nsk.su*

В настоящее время в мире реализуется несколько десятков проектов ускорительных источников нейтронов для бор-нейтронозахватной терапии злокачественных опухолей. Некоторые из установок уже используются для лечения, некоторые – для клинических испытаний, некоторые – для научных исследований, а остальные находятся в стадии ввода в эксплуатацию. Список 24 установок приведен в книге МАГАТЭ [1], список 29 установок представлен на сайте Международного сообщества нейтрон-захватной терапии [2], некоторые установки подробно представлены в недавно вышедшей книге о нейтрон-захватной терапии [3], некоторые новые проекты в Китае представлены в статье [4].

В докладе дается обзор ускорительных источников нейтронов в мире и отмечаются их особенности и полученные результаты. Отдельное внимание уделяется обоснованию требований, предъявляемых к терапевтическому пучку нейтронов, и обоснованию возможностей многоцентровых исследований.

Список литературы:

1. *Advances in Boron Neutron Capture Therapy*. International Atomic Energy Agency: Vienna, Austria, 2023.
2. <https://isnct.net/bnct-boron-neutron-capture-therapy/accelerator-based-bnct-projects-2021/>
3. *Neutron Capture Therapy: Principles and Applications*, 2nd ed. Editors: W. Sauerwein, A. Wittig, R. Moss, Y. Nakagawa, K. Ono. Springer, 2025
4. Z. Zhang, Y. Chong, Y.-H. Liu, *et al.* A Review of Planned, Ongoing Clinical Studies and Recent Development of BNCT in Mainland of China. *Cancers* 15 (2023) 4060.



Система дозиметрического планирования ускорительного источника нейтронов VITA для бор-нейтронозахватной терапии

Е.А. Берендеев¹, Г.Е. Горлачев², А.М. Кошкарёв¹, С.Ю. Таскаев¹, Т.В. Шейн¹

¹Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, Новосибирск, Россия

²ООО «Сибмер», Новосибирск, Россия

E-mail: beren@inp.nsk.su

В работе представлена система дозиметрического планирования (СДП) для ускорительного источника нейтронов VITA, разрабатываемого для задач БНЗТ. Система обеспечивает полный цикл подготовки плана облучения: загрузку и обработку медицинских изображений пациента в формате DICOM, сегментацию анатомических структур, построение трёхмерной геометрической модели, задание параметров облучения и расчёт дозовых распределений. Архитектура СДП включает сервер хранения и обработки данных пациентов, пользовательский интерфейс для работы с КТ/МРТ-изображениями и расчётное ядро, реализующее моделирование транспорта нейтронов и γ -излучения методом Монте-Карло. В отличие от стандартных СДП для фотонной терапии, система учитывает многокомпонентный характер дозы БНЗТ, включая борную, азотную, нейтронную и фотонную компоненты, а также возможность расчёта биологически эквивалентной дозы с использованием коэффициентов RBE/CBE. Реализованы построение дозовых распределений, DVH-гистограмм и оценка времени облучения пациента. Верификация расчётной модели проводилась с использованием водного фантома, а также сравнением результатов расчётов с независимыми Monte Carlo-кодами. Полученные результаты демонстрируют согласие расчётных и экспериментальных данных в пределах неопределённостей, характерных для БНЗТ-дозиметрии. Разрабатываемая СДП VITA является первой отечественной системой планирования, ориентированной на БНЗТ с ускорительным источником нейтронов, и создаётся с учётом современных международных тенденций развития клинических БНЗТ - СДП [1,2].

Список литературы:

1. H. Kumada, K. Takada. Treatment planning system and patient positioning for boron neutron capture therapy. *Therapeutic Radiology and Oncology* 2 (2018) 50.
2. N. Hu, H. Tanaka, R. Kakino *et al.* Evaluation of a treatment planning system developed for clinical boron neutron capture therapy and validation against an independent Monte Carlo dose calculation system. *Radiation Oncology* 16 (2021) 243.



Система формирования пучка нейтронов для бор-нейтронозахватной терапии

Т.В. Шейн^{1,2}, С.Ю. Таскаев^{1,2}, С.С. Савинов^{1,2}, В.С. Дегтярев¹

¹*Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, Новосибирск, Россия*

²*Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия*

E-mail: sychevatatyanav@gmail.com

Для проведения клинических испытаний методики БНЗТ и последующего лечения онкологических больных в НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина Минздрава России поставлен ускорительный источник нейтронов VITA, включающий в себя ускоритель-тандем с вакуумной изоляцией для получения пучка протонов, литиевую мишень для генерации нейтронов в реакции ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$ и систему формирования пучка нейтронов.

В докладе представлена разработанная система формирования пучка ускорительного источника нейтронов VITA, удовлетворяющая требованиям МАГАТЭ, предъявляемым к терапевтическому пучку нейтронов, приведено сравнение с аналогами. Показано, что разработанную систему формирования пучка можно использовать для лечения больных.



Применение мгновенной гамма-спектрометрии при проведении бор-нейтронозахватной терапии домашним животным

В.Д. Мальцева¹, Т.А. Быков^{1,2}, Ю.Л. Чеснокова¹, Р. Диб¹, М.А. Дегтярева³, Е.С. Дмитриева³,
А.И. Касатова^{1,2}, Д.А. Касатов^{1,2}, Ю.С. Таскаева^{1,2,3}, С.А. Успенский⁵, С.Ю. Таскаев^{1,2}

¹ Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, Новосибирск, Россия

² Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

³ НИИ клинической и экспериментальной лимфологии — филиал ИЦИГ СО РАН, Новосибирск, Россия

⁴ Ветеринарная клиника «Доктор Вет», Новосибирск

⁵ Институт синтетических полимерных материалов им. Н. С. Ениколопова РАН, Москва, Россия

E-mail: jullis74@mail.ru

Бор-нейтронозахватная терапия (БНЗТ) перспективный бинарный метод лучевой терапии онкологических заболеваний [1]. В основе метода лежит способность стабильного изотопа бора-10 (^{10}B) селективно накапливаться в клетках опухоли и поглощать тепловые нейтроны. Поглощение нейтрона ядром ^{10}B инициирует мгновенную ядерную реакцию с выделением 2,79 МэВ энергии. Продукты реакции — ядро ^7Li и α -частица локально депонируют 84% всей энергии в объеме одной клетки. При этом в 93,9% случаев ядро лития испускается в возбужденном состоянии, генерируя γ -квант с энергией 478 кэВ. Целью работы являлась демонстрация применимости мгновенной γ -спектрометрии для прямого непрерывного мониторинга концентрации бора непосредственно в процессе БНЗТ на животных. Эксперименты проводились на ускорительном источнике нейтронов VITA в ИЯФ СО РАН. Вторичное излучение регистрировалось γ -спектрометром с полупроводниковым детектором из особо чистого германия. Спектрометр был позиционирован относительно мишени для селективной регистрации мгновенных фотонов с энергией 478 кэВ [2]. Исследование проведено в группе из 10 домашних животных со спонтанными опухолями головы и шеи. Полученные данные выявили вариабельность показателей: интенсивность ядерных реакций поглощения нейтронов бором отличалась у разных особей в 10 раз, а общее время выведения бора — в 6 раз. Корреляционные связи между интенсивностью реакций захвата в реальном времени с объемом опухоли и с концентрацией бора в периферической крови не наблюдались, отмечалась значимая разница между временем выведения бора из опухолевой ткани (от 3 до 17 часов) и из периферической крови (от 1 до 3 часов). Таким образом, полученные данные демонстрируют тот факт, что измерение дозы только по пробам крови при проведении БНЗТ не гарантирует корректность лучевой терапии. Для практической реализации метода предложено расширить функционал существующих систем дозиметрического планирования.

Список литературы:

1. W. Sauerwein *et al.* (Eds.). Neutron Capture Therapy: Principles and Applications. Second Edition. Springer, 2025, pp. 205–251.
2. M. Bikchurina M. *et al.* Dosimetry for boron neutron capture therapy developed and verified at the accelerator based neutron source VITA. Front. Nucl. Eng. 2 (2023) 1266562.



Автоматизация ускорительного источника нейтронов VITA-IIβ

А.М. Кошкарёв

*Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, Новосибирск, Россия
Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия
E-mail: kent_brockman4@mail.ru*

Ускорительный источник нейтронов VITA-IIβ изготовлен и поставлен в НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина Минздрава России (Москва, Россия) для проведения клинических испытаний методики бор-нейтронозахватной терапии и последующего лечения онкологических больных. Комплекс программно-технических средств системы контроля и управления установкой разработан и внедрен Научно-исследовательским институтом измерительных систем им. Ю.Е. Седакова (Нижний Новгород, Россия) [1].

Для первичного запуска установки на площадке в Новосибирске силами сотрудников Института ядерной физики СО РАН разработана система управления ускорительного источника нейтронов VITA [2, 3], которая обеспечила получение проектных параметров. Использование этой системы позволило начать пуско-наладочные работы на площадке онкологического центра в Москве. В настоящее время продолжается разработка системы управления ускорительного источника нейтронов VITA (производство ИЯФ), которая может заменить разработанный комплекс программно-технических средств системы контроля и управления установкой (производство НИИИС).

В докладе приведены детали разработанных систем управления и отмечаются их преимущества и недостатки.

Список литературы:

1. А.М. Кошкарёв, В.А. Насташенко, С.П. Харченко, И.М. Щудло, С.Ю. Таскаев. Автоматизация ускорительного источника нейтронов VITA. Успехи современной радиоэлектроники (в печати).
2. А.М. Кошкарёв, С.Ю. Таскаев. Разработка и внедрение системы автоматизации ускорительного источника нейтронов для бор-нейтронозахватной терапии. Письма в ЭЧАЯ 20(4) (2023) 869-875.
3. А.М. Кошкарёв, И.М. Щудло, С.Ю. Таскаев. Разработка и внедрение системы автоматизации ионного источника D-Рассе для ускорителя VITA. Сибирский физический журнал 19(1) (2024) 54–60.



Coulomb scattering of the VITA ion beam

Yaroslav Kolesnikov, Tymofey Bykov, Sergey Savinov, Sergey Taskaev

*Budker Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, Russia
Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia
E-mail: katyono@mail.ru*

Accelerator based neutron source VITA proposed, developed and actively used in Budker Institute of Nuclear Physics for investigations in the field of BNCT, cross-sections measurement and others. Nowadays, a third-generation accelerator neutron source VITA-III is being developed for implementation in clinics [1]. In this work attention is focused on the ion beam transportation in argon stripping target. It is shown, that, besides influence of the spatial charge and focusing set for the beam, density of the argon in the stripping target have also influence on the ion beam propagation. Since dependence of the ion beam angular divergence is proportional to $\sqrt{\rho}/E$, where ρ – argon density and E – beam energy, and dependence of the recharge $H^- \rightarrow p^+$ efficiency from the ρ in the 85–99% is weaker, there is a region of argon density, where beam transportation is better, but total current is still relatively high.

This phenomenon will be presented and discussed.

Acknowledgments:

This work was supported by the Russian Science Foundation (grant no. 26-12-00020).

References:

1. T. Bykov, Ya. Kolesnikov, A. Koshkarev *et al.* Comparison of vacuum insulated tandem accelerators and suggestions for its improvement. Nuclear instruments and Methods in Physics Research A 1077 (2025) 170587.



Изучение параметров нейтронного и гамма-излучения на выходе горизонтального касательного канала №7Б реактора ИР-8 НИЦ «Курчатовский институт»

Д.С. Петруня^{1,2}, А.Н. Стрепетов¹, Ю.Е. Песня¹, М.Н. Шушунов¹, Я.В. Раздрогова²,
Я.А. Колесников^{3,4}, Г.Д. Верховод³, С.Ю. Таскаев^{2,3,4}, И.Н. Завестовская^{1,2}

¹ Национальный исследовательский центр "Курчатовский институт", Москва, Российская Федерация

² Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, Российская Федерация

³ Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, Новосибирск, Российская Федерация

⁴ Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Российская Федерация

E-mail: d.petrunya@lebedev.ru

Одной из наиболее актуальных задач нейтрон-захватной терапии является разработка новых ^{10}B - и ^6Li -содержащих адресных препаратов, которые позволят значительно повысить эффективность лечения за счет селективного накопления и длительного удержания необходимых концентраций целевого изотопа в опухоли. В Российской Федерации существует острая нехватка экспериментальных станций на базе исследовательских источников низкоэнергетичных нейтронов для тестирования новых нейтрон-захватных препаратов и отработки методов дозиметрического и метрологического сопровождения лечения. В НИЦ «Курчатовский институт» реализуется проект по созданию биологического стенда для исследований в области нейтрон-захватной терапии на базе горизонтального касательного канала (ГЭК) №7Б исследовательского ядерного реактора ИР-8.

Целью данного исследования являлось изучение параметров нейтронного и гамма-излучения на выходе ГЭК №7Б. Экспериментальные исследования проводились с применением нейтрон-активационного анализа, борного счетчика СНМ-13 в полиэтиленовом замедлителе и измерительного комплекса на базе дозиметрического 3D-фантома и компактных сцинтилляционных счетчиков нейтронов и гамма-излучения. Расчетные исследования выполнены с использованием программных средств MCU-PTR и Geant4, предназначенных для моделирования процессов переноса излучения методом Монте-Карло.

Установлено, что энергетический спектр нейтронов на выходе ГЭК №7Б имеет выраженный максимум в тепловой области. Интенсивность потока тепловых нейтронов ($E_n < 0,5$ эВ) составляет $1,12 \cdot 10^8 \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{МэВ}^{-1}$, эпитепловых ($0,5 \text{ эВ} \leq E_n \leq 10 \text{ кэВ}$) – $1,34 \cdot 10^7 \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{МэВ}^{-1}$, быстрых ($E_n > 10 \text{ кэВ}$) – $3,16 \cdot 10^6 \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{МэВ}^{-1}$. Показана высокая радиальная однородность полей нейтронного и гамма-излучения, при этом соотношение значений интенсивностей потока нейтронов и гамма-излучения лежит в диапазоне от 10 до 12. На основе полученных данных сформулированы исходные технические требования на создание биологического стенда на базе ГЭК №7Б реактора ИР-8.

Финансирование:

Работа выполнена в рамках Государственного задания НИЦ "Курчатовский институт"



Измерение параметров протонного пучка с использованием пластиковых сцинтилляторов, обогащенных бором

Г.Д. Верховод¹, Т.А. Быков^{1,2}, В. В. Порошев^{1,2}, С. Ю. Таскаев^{1,2}, А. Е. Шемяков³

¹ Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, Новосибирск, Российская Федерация

² Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Российская Федерация

³ Филиал "Физико-технический центр" Физического института им. Лебедева РАН, Протвино, Российская Федерация

E-mail: thevoidscreamer@gmail.com

В работе представлены результаты измерения пространственного распределения потоков протонов и вторичных частиц на комплексе протонной терапии «ПРОМЕТЕУС» ФТЦ ФИАН и их сравнение расчетами, смоделированными в пакете GEANT4. Измерения проводились с помощью малогабаритного детектора нейтронов [1] на основе сцинтиллятора, обогащенного бором, закрепленного на подвижной каретке дозиметрического 3D-фантома. Представленные экспериментальные данные соответствуют расчетной модели и показывают, что использование борсодержащих препаратов в протонной терапии приводит к незначительному усилению биологической эффективности, что ставит под сомнение ряд исследований по данной тематике [2,3]. Таким образом, необходимо дальнейшее изучение данного вопроса и поиск альтернативных механизмов, объясняющих наблюдаемый эффект усиления биологической эффективности терапии.

Список литературы:

1. T.A. Bykov, D.A. Kasatov, A.M. Koshkarev *et al.* Initial trials of a dose monitoring detector for boron neutron capture therapy. *Journal of Instrumentation* 16 (2021) P01024.
2. G. A. P. Cirrone, L. Manti, D. Margarone *et al.* First experimental proof of Proton Boron Capture Therapy (PBCT) to enhance protontherapy effectiveness. *Sci Rep* 8 (2018) 1141.
3. A. Mazzone, P. Finocchiaro, S. L. Meo, N. Colonna. On the (un)effectiveness of proton boron capture in proton therapy. *Eur. Phys. J. Plus* 134 (2019) 361.



Reaction $p+B^{11}\rightarrow 3\alpha$ in proton therapy

G.M. Ostreinov, S.Yu. Taskaev

Budker Institute of Nuclear physics, Novosibirsk, Russia

E-mail: G.M.Ostreinov@inp.nsk.su

Inspired by boron neutron capture therapy (BNCT), PBCT is a binary technique: a tumour-seeking boron-11 carrier is administered, and when the tumour is irradiated with protons, the nuclear reaction $p + {}^{11}\text{B} \rightarrow 3\alpha$ is triggered exclusively at the Bragg peak, releasing densely ionising α -particles. The underlying reaction is a resonant capture of a low-energy proton (~ 675 keV) by a ${}^{11}\text{B}$ nucleus, forming an excited ${}^{12}\text{C}^*$ state that immediately decays into three α -particles with a total kinetic energy of about 8.7 MeV [1,2]. Because the cross-section peaks at proton energies corresponding to the last ~ 20 μm of the proton track, the α -particles are generated entirely within the tumour volume. Their high linear energy transfer (LET) induces complex, clustered DNA damage double-strand breaks and chromosomal aberrations that are extremely difficult for the cell to repair. Consequently, PBCT preserves the spatial selectivity of proton therapy while enhancing the local RBE.

Since the cross-sectional value of this reaction directly affects the prospects of PBCT, we present here a brief retrospective review of the studies in which the cross section of the 3α reaction was measured. In the 1965 paper [3] a cross section of 800 mb was given, 12 years later in the article [4] a "pessimistic" (600 mb) and "optimistic" (800 mb) cross section value was given. In a major revision in 1988 [5], published during a period of increased enthusiasm in the search for alternative thermonuclear fusion, values of 650-800 mb were given. Newins in the 2000 article [6] conducted values of 1200 mb. Following the 2011 on the revision of the reaction mechanism, there has been a renewed interest in this reaction. In the articles [7] and [8], the cross section value is now 1400 mb. The cross section was measured by our group in 2024 [9] was 700 mb.

References:

1. G. Cirrone, L. Manti *et al.* First experimental proof of Proton Boron Capture Therapy (PBCT) to enhance protontherapy effectiveness. *Scientific Reports* 8 (2018) 1141.
2. P. Bláha, C. Feoli, R. Aglieri *et al.* The Proton-Boron Reaction Increases the Radiobiological Effectiveness of Clinical Low- and High-Energy Proton Beams: Novel Experimental Evidence and Perspectives. *Frontiers in Oncology* 11 (2021) 682647.
3. R. Segel. States in C^{12} between 16.4 and 19.6 MeV / R. Segel, S. Hanna, R. Allas. *Phys. Rev.* 1965. Vol. 139.
4. D. Moreau. Potentiality of the proton-boron fuel for controlled thermonuclear fusion. *Nucl. Fusion* 17 (1977) 13.
5. H.W. Becker, C. Rolfs, H.P. Trautvetter. Low-energy cross sections for the ${}^{11}\text{B}(p,3\alpha)$ reaction. *Zeitschrift für Physik A* 327 (1987) 341–355.
6. W. Nevins. The thermonuclear fusion rate coefficient for p-11B reactions. *Nuclear Fusion* 40 (2000) 865.
7. M.H. Sikora. A New Evaluation of the ${}^{11}(p,\alpha)\alpha\alpha$ Reaction Rates. *Journal of Fusion Energy* 35 (2016)538-543.
8. D. Mazzucconi *et al.* Proton boron fusion reaction: A novel experimental strategy for cross section investigation. *Radiation Physics and Chemistry* 204 (2023) 110727.
9. S.Taskaev *et al.* Measurement of the ${}^{10}\text{B}(d,\alpha_0){}^8\text{Be}$, ${}^{10}\text{B}(d,\alpha_1){}^8\text{Be}^*$, ${}^{10}\text{B}(d,p_2){}^9\text{Be}^*$, ${}^{11}\text{B}(d,\alpha_0){}^9\text{Be}$, and ${}^{11}\text{B}(d,\alpha_2){}^9\text{Be}^*$ reactions cross-sections at the deuteron energies up to 2.2 MeV. *Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, B* 557 (2024) 165527.



Measurement of the cross-section of nuclear reactions of lithium-6 interaction with deuteron at energy up to 2.2 MeV

Marina Bikchurina, Tymofey Bykov, Dmitrii Kasatov, Yaroslav Kolesnikov,
Georgii Ostreinov, Sergey Savinov, Evgeniia Sokolova, and Sergey Taskaev

*Budker Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, Russia
Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia
E-mail: M.I.Bikchurina@inp.nsk.su*

The electrostatic vacuum insulated tandem accelerator VITA generates a stable monoenergetic proton/deuteron beam with an energy from 0.1 to 2.3 MeV with an accuracy of 0.1%. A target made of pure crystalline lithium is used to generate neutrons. Lithium is thermally evaporated on a special stand, and its composition can be natural or enriched with the isotope ^6Li or ^7Li . Under the bombardment of a deuteron beam, a lithium target is a powerful source of fast neutrons, which are necessary for many applications, including materials science, fast neutron therapy, and radiation testing.

The interaction of a deuteron beam with lithium atomic nuclei is characterized by a high neutron yield, high neutron energy, and a wide variety of reactions. As a result of these reactions, protons, neutrons, tritium, α -particles and atomic nuclei ^3He , ^5He , ^5Li , ^7Li , ^7Be and ^8Be . Neutrons are emitted in six reactions – four on lithium-7 and two on lithium-6. Previously, we measured the cross sections of all four neutron generation reactions on lithium-7 using a target made of natural lithium [1, 2]. In this study, lithium enriched with the isotope lithium-6 was used. The presence of such a target made it possible to more accurately measure the reaction cross-sections $^6\text{Li}(d,\alpha)^4\text{He}$, $^6\text{Li}(d,p)^7\text{Li}$ and $^6\text{Li}(d,p)^7\text{Li}^*$ [3]. In addition, the $^6\text{Li}(d,n)^7\text{Be}$ reaction produces the radioactive isotope beryllium-7 with a half-life of 53.22 days. The measurement of the activation of the lithium target allowed us to determine the complete reaction cross-section $^6\text{Li}(d,n)^7\text{Be}$.

References:

1. S. Taskaev, M. Bikchurina, T. Bykov, *et al.* Measurement of cross-section of the $^6\text{Li}(d,\alpha)^4\text{He}$, $^6\text{Li}(d,p)^7\text{Li}$, $^6\text{Li}(d,p)^7\text{Li}^*$, $^7\text{Li}(d,\alpha)^5\text{He}$, and $^7\text{Li}(d,n\alpha)^4\text{He}$ reactions at the deuteron energies from 0.3 MeV to 2.2 MeV. Nuclear Inst. and Methods in Physics Research B 554 (2024) 165460.
2. S. Meshchaninov, A. Krasilnikov, N. Rodionov, *et al.* Measurement of Cross-Section of the $^7\text{Li}(d,n)^8\text{Be}$ Reactions at the Deuteron Energies from 0.4 to 2.1 MeV. Physics of Atomic Nuclei 87 (Suppl. 6) (2024), S771–S785.
3. С.Ю. Таскаев, М.И. Бикчурина, Т.А. Быков и др. Измерение сечения ядерных реакций $^6\text{Li}(d,\alpha)^4\text{He}$, $^6\text{Li}(d,p)^7\text{Li}$ и $^6\text{Li}(d,p)^7\text{Li}^*$ при энергии дейтронов до 2,2 МэВ. Ядерная физика 89(3) (2026).



Biodegradable Nanoparticles For Application In Neutron Capture Therapy Of Cancer

Potseleev Vladislav¹, Uspenskii Sergey¹

¹ *Enikolopov Institute of Synthetic Polymeric Materials, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia,
E-mail: v.potseleevu@ispm.ru*

Neutron capture therapy (NCT) is a promising method for combating malignant tumors. Currently, the main drugs for NCT are compounds containing the isotope boron-10 (^{10}B), such as borophenylalanine and sodium borocaptate. However, their production requires significant financial costs, and the boron content in these agents is typically limited (less than 10%). This implies the necessity of high doses to achieve the desired therapeutic effect.

Boron nanoparticles represent an attractive alternative approach to NCT. They are simpler to synthesize and consist of nearly 100% boron atoms, allowing their use in considerably lower doses. Recently, it was found that the isotope lithium-6 (^6Li) possesses a higher neutron capture cross-section compared to ^{10}B . This opens new possibilities for the development of ^6Li -based drugs for NCT. Nevertheless, a key challenge remains the creation of a delivery system that ensures ^6Li transport directly to tumor tissues.

For efficient uptake of boron- and lithium-containing particles by tumor cells, their size should be below 100 nm. It is also essential to provide controlled release of boron and lithium compounds after administration and to achieve targeted cellular uptake. The development of novel nanoparticles based on these elements, offering controlled release and targeted delivery, is a promising direction in neutron capture therapy of cancer.

Biocompatible and biodegradable polymers derived from lactic and glycolic acids, such as polylactide (PLA) and poly(lactide-co-glycolide) (PLGA), are preferred as an optimal platform for encapsulating lithium and boron compounds into nanoparticles.

The aim of this work was to develop a method for fabricating biodegradable PLA- and PLGA-based nanoparticles containing encapsulated compounds of elements that represent promising therapeutic agents for neutron capture therapy of cancer.

Acknowledgments:

This research was funded by the Ministry of Education and Science of Russia, grant No. FFSM-2025-0003.

References:

1. Potseleev V.V., Uspenskii S.A., Trofimchuk E.S. et al. *Int.J.Mol.Sci.* 2023, 24(22), 16492.
2. Potseleev V.V., Trofimchuk E.S., Nikonorova N.I. *Mendeleev Commun.* 2021, 31, 515–516.



From Boron to Lithium: First in Vivo Demonstration of Accelerator-Based LiNCT

Iuliia Taskaeva^{1,2}, Anna Kasatova¹, Timofey Bykov¹, Evgeniia Sokolova¹, Nataliya Bgatova²,
Sergey Taskaev¹

¹ Budker Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, Russia

² Research Institute of Clinical and Experimental Lymphology – Branch of the Institute of Cytology and Genetics,
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia
E-mail: taskaeva.iuliia@gmail.com

Boron neutron capture therapy (BNCT) is a promising cancer treatment, but its clinical adoption is limited by boron delivery issues. Lithium-6 (⁶Li) offers an alternative: the ⁶Li(n,α)³H reaction releases twice the energy of the ¹⁰B reaction, with 100% of energy deposited inside the cell, despite a four-times smaller cross-section. Our previous study showed effective accumulation of lithium in melanoma cells following the administration of various lithium salts containing the natural lithium, moreover, the study also demonstrated the absence of toxicity after a single administration of high-dose lithium for the LiNCT [1]. Here we present the first in vivo evaluation of accelerator-based lithium neutron capture therapy (LiNCT) using a B16 mouse melanoma model.

Lithium chloride (⁶Li, 450 mg/kg) was administered either perorally (p.o.) or intraperitoneally (i.p.). Biodistribution was measured by ICP-AES at 1–4 h. Neutron irradiation (2.1 MeV protons, 1.6 mA, ~1.5 h) was performed using the VITA accelerator-based neutron source [2]. Tumor growth and survival were monitored.

I.p. injection achieved higher peak tumor lithium concentration (54.1 μg/g at 1 h) than p.o. (30.2 μg/g at 4 h), with favourable tumor/skin and tumor/blood ratios (4.7 and 1.4, respectively). In the i.p. LiNCT group, median survival increased to 34 days versus 15 days in controls (p < 0.001, log-rank), and tumor growth was significantly suppressed (2–4-fold, p < 0.05 at multiple time points, GLMM). Oral administration showed only a trend towards improved outcomes, not statistically significant.

These results provide the first evidence of in vivo anticancer efficacy of accelerator-based LiNCT. The higher lithium uptake and stronger therapeutic effect after intraperitoneal delivery establish a foundation for further optimization, including selective lithium-carrier development and potential lithium-boron combinations.

Acknowledgments:

This work was supported by the Russian Science Foundation (grant no. 26-12-00020).

References:

1. I. Taskaeva, A. Kasatova, D. Surodin, *et al.* Study of lithium biodistribution and nephrotoxicity in skin melanoma mice model: the first step towards implementing lithium neutron capture therapy. *Life (Basel)* 13 (2023) 518.
2. S. Taskaev. Development of an Accelerator-Based Epithelial Neutron Source for Boron Neutron Capture Therapy. *Phys. Part. Nucl.* 50 (2019) 569–575.



Accumulation and retention of laser-synthesized boron nanoparticles in vitro

A.I. Kasatova^{1,2}, K.S. Kuzmina^{2,3}, P.A. Kotelnikova^{1,4}, E.V. Barmina^{1,5}, K.O. Aiyyzhy⁵,
A.A. Laktionov⁶, D.I. Tselikov⁶, I.V. Sozaev⁶, I.V. Lunyov⁶, S.M. Klimentov^{1,6}, M.S. Grigoryeva¹,
D.S. Petrunya^{1,7}, E.L. Zavjalov⁸, S.Yu. Taskaev^{1,2,3}, S.M. Deyev^{4,7,9}, I.N. Zavestovskaya^{1,7}

¹ Lebedev Physical Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

² Budker Institute of Nuclear Physics, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

³ Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

⁴ Shemyakin–Ovchinnikov Institute of Bioorganic Chemistry, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

⁵ Prokhorov General Physics Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

⁶ National Research Nuclear University MEPhI, Engineering Physics Institute of Biomedicine, Moscow, Russia

⁷ National Research Center Kurchatov Institute, Moscow, Russia

⁸ Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

⁹ National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russia

E-mail: A.I.Kasatova@inp.nsk.su

To improve the effectiveness of boron neutron capture therapy (BNCT) new selective boron delivery drugs is under investigation, in particular nanosystems [1, 2]. In this work elemental boron nanoparticles obtained by laser fragmentation (LF NPs) or laser ablation (LA NPs) 85% enriched with the boron-10 isotope and and functionalized with polyethylene glycol were used. The cytotoxicity, cell accumulation and retention were evaluated for tumor cell lines BT-474 and U87 and fibroblasts BJ-5ta.

Nanoparticles of both types (LF and LA NPs) did not show any toxic effect used in boron-10 concentrations up to 80 µg/ml, therapeutically relevant and appropriate concentrations for further studies on BNCT.

It was revealed that all three cell lines accumulate boron in the highest quantity 24 hours after incubation with NPs. Boron retention by cells also remained quite high for 120 minutes after removal of the nanoparticle-containing medium. The obtained concentration values are an order of magnitude higher than the values obtained by other researchers using borophenylalanine.

Acknowledgments:

This research was funded by the Russian Science Foundation, Project No. 24-62-00018, <https://rscf.ru/project/24-62-00018/>.

References:

1. International Atomic Energy Agency. Advances in Boron Neutron Capture Therapy. Vienna; IAEA, 2023. 416 p.
2. W.A.G. Sauerwein, A. Wittig, R.L. Moss, Y. et al. Neutron Capture Therapy: Principles and Applications. Second Edition. Switzerland: Springer Cham; 2025, Edition 2, XI, 806 p.



Study of boron accumulation in tumor and organs in vivo after administration of boron-containing compounds as potential delivery agents for BNCT

Ksenya S. Kuzmina^{1,2}, Anna I. Kasatova^{1,2}, Polina A. Kotelnikova^{1,4}, Ekaterina V. Barmina^{1,5}, Kuder O. Aiyyzhy⁵, Artem A. Laktionov⁶, Daniil I. Tselikov⁶, Islam V. Sozaev⁶, Igor V. Lunyov⁶, Sergey M. Klimentov^{1,6}, Maria S. Grigoryeva¹, Dmitry S. Petrunya^{1,7}, Evgenii L. Zavjalov⁸, Sergey Yu. Taskaev^{1,2,3}, Sergey M. Deyev^{4,7,9}, Irina N. Zvestovskaya^{1,7}

¹ Lebedev Physical Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

² Budker Institute of Nuclear Physics, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

³ Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

⁴ Shemyakin–Ovchinnikov Institute of Bioorganic Chemistry, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

⁵ Prokhorov General Physics Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

⁶ National Research Nuclear University MEPhI, Engineering Physics Institute of Biomedicine, Moscow, Russia

⁷ National Research Center Kurchatov Institute, Moscow, Russia

⁸ Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

⁹ National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russia

E-mail: A.I.Kasatova@inp.nsk.su

For the successful implementation of boron neutron capture therapy (BNCT), targeted boron delivery systems are required. The main requirements for a boron delivery agent include: accumulation of boron-10 in tumor tissues at a concentration of 20 µg/g or higher, low compound toxicity, retention of boron in the tumor throughout the entire irradiation period, as well as rapid clearance from organs and blood. Conducting studies on the accumulation of the boron-containing agent is an important step in BNCT treatment planning.

The aim of this study is to investigate the potential of using new boron-containing agents, namely elemental boron nanoparticles obtained by laser synthesis, laser ablation, and laser fragmentation (LA NPs and LF NPs), as potential delivery systems for BNCT.

To study the biodistribution of boron in vivo after intratumoral administration of elemental boron nanoparticles to mice bearing BT474 and U87 xenograft tumors, inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP AES) was used. The studies were performed at different dosages of LA and LF NPs.

The highest concentration of boron-10 after intratumoral administration to mice bearing BT474 xenograft tumors was achieved 30 minutes after administration and amounted to 138 µg/g. The boron-10 content in the blood was 2 µg/mL regardless of the time point and nanoparticle dosage. The maximum boron-10 content in normal tissue was 13 µg/g. The biodistribution study in mice with U87 xenograft tumors showed that the concentration of boron-10 in the tumor was about 50 µg/g and in the liver was 1.5 µg/g. No boron accumulation was detected in other examined organs. The obtained data indicate the potential of these nanoparticles as boron delivery agents for BNCT when administered intratumorally.

The work was supported by the Russian Science Foundation (project No. 24-62-00018) under the program "Advanced Combined Technologies for Neutron Capture Therapy".



Thickness measurement of experimental targets

Evgeniia Sokolova, Marina Bikchurina, Dmitrii Kasatov, Timofey Bykov, Georgii Ostreinov,
Sergey Taskaev

Budker Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, Russia

Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

E-mail: buiya@bk.ru

Accelerator based neutron source VITA has been proposed and developed for boron neutron capture therapy, but it also finds applications in measuring cross-sections and yields of nuclear reactions, radiation testing of advanced materials and devices for CERN and ITER, the Stern–Gerlach experiment, and testing of the dark matter detectors.

Most scientific tasks require precise thickness measurement of the experimental target. For example, the accuracy of thickness determination is the main source of error in reaction cross-section measurements. To measure the thickness of targets, both non-destructive (*in situ*) and destructive methods are implemented. Some of them have been specially developed taking into account the characteristics of the target being studied. For example, the thickness of the lithium target was measured with six independent methods, which were in good agreement and provided an accuracy of 3%.

The report describes the methods for thickness measurement of different experimental targets, their accuracy, and application features.



Разработка и исследование новых нейтроногенерирующих мишеней на ускорителе VITA

Касатов Д.А., Таскаев С.Ю.

*Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, Новосибирск, Россия
Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия
E-mail: kasatovd@gmail.com*

Ускорительный источник нейтронов VITA в ИЯФ СО РАН разрабатывался специально для бор-нейтронозахватной терапии (БНЗТ), где генерация нейтронов происходит на базе реакции ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$. Однако, потенциал этой установки выходит за рамки медицинских задач БНЗТ, VITA позволяет использовать мощный стационарный пучок протонов или дейтронов с энергией в диапазоне 0,1–2,3 МэВ и током от 0,5 до 5 мА. Изменение материала мишени позволяет генерировать нейтронные пучки с принципиально новыми спектральными характеристиками и параллельно вести наработку востребованных радиоизотопов.

В работе обсуждается разработка и экспериментальное тестирование новых твердотельных мишеней из марганца и изотопа железа-57 для получения монохроматических нейтронов и наработки перспективных радионуклидов. Успешно реализованы новые конфигурации мишеней, продемонстрирована стабильность мишеней при длительном облучении. Верифицирована возможность эффективной наработки изотопов для прикладных задач ядерной физики.

Модернизация мишенного узла расширяет функционал ускорителей VITA. Установка может эффективно использоваться как универсальный стенд для фундаментальных исследований и радиоизотопной индустрии.



Исследование характеристик распределений потоков нейтронов и гамма-квантов для бор-нейтронозахватной терапии на установке VITA

И. Ибрагим^{1,2}, Т.А. Быков^{1,2}, Г.Д. Верховод^{1,2}, С.Ю. Таскаев^{1,2}

¹ Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, Новосибирск, Россия

² Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

E-mail: ibrahim93za@gmail.com

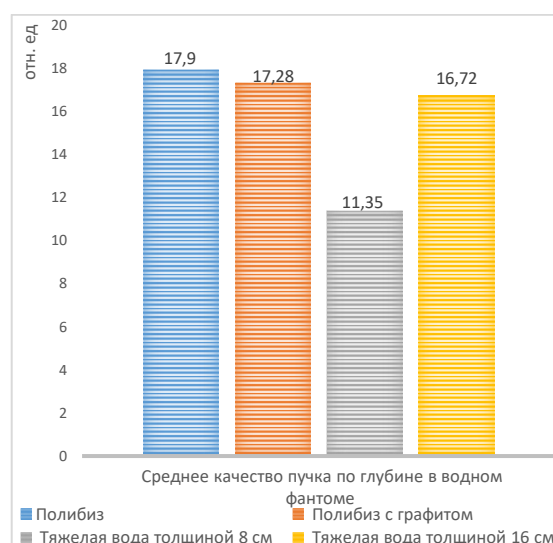
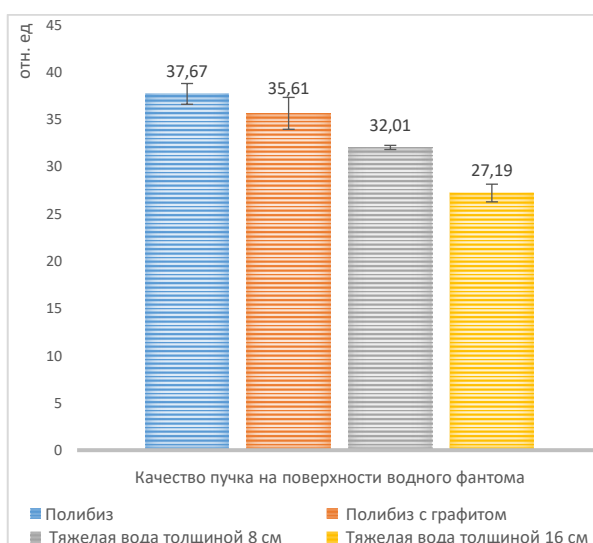
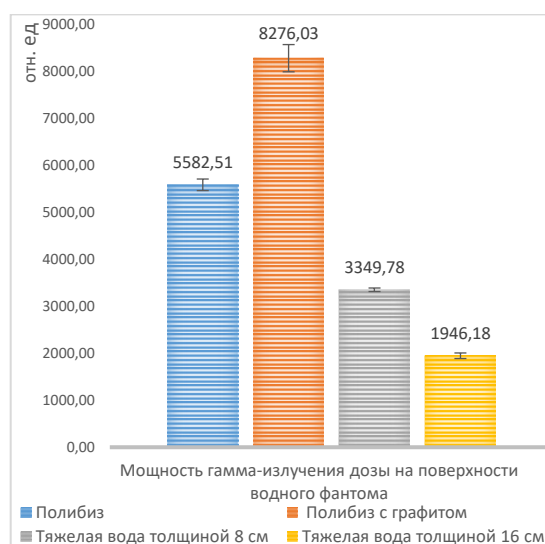
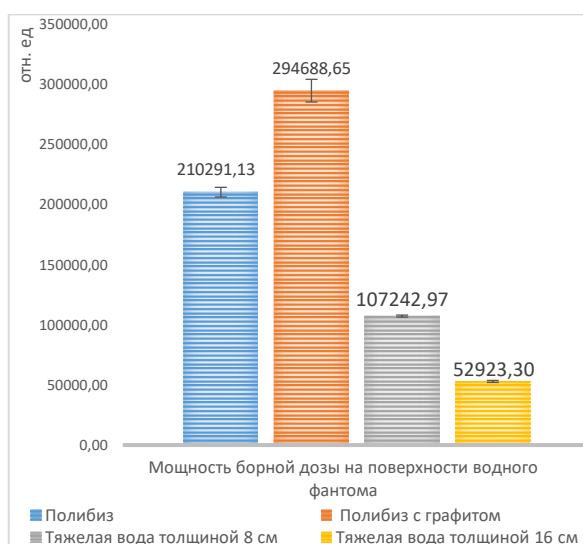
Бор-нейтронозахватная терапия (БНЗТ) — бинарный метод лучевой терапии, основанный на селективном накоплении стабильного изотопа ^{10}B в опухолевых клетках и последующем облучении эпитепловыми нейтронами [1]. Высокоионизирующие частицы, образующиеся в результате реакции $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$, высвобождают энергию в пределах нескольких микрометров, вызывая локальную гибель раковых клеток с минимальным повреждением здоровых тканей [2]. Клинический успех БНЗТ критически зависит от доставки адекватного потока нейтронов на глубину опухоли при минимизации сопутствующего гамма-излучения, облучающего здоровые ткани [3, 4]. Следовательно, точное знание глубинных распределений потоков нейтронов и гамма-квантов в тканеэквивалентных средах необходимо для планирования лечения и оптимизации пучков.

Цель работы: В данном исследовании измерено распределение потоков нейтронов и гамма-квантов в воздухе и водном фантоме (аквариум размером $330 \times 330 \times 315 \text{ мм}^3$, заполненный дистиллированной водой, имитирующей тканеподобный материал; лицевая стенка сосуда, прилегающая к замедлителю, выполнена из тонкой мембраны полиэтилентерефталата толщиной 0,5 мм; остальные стенки изготовлены из поликарбоната и имеют толщину 8 мм, дно — 16 мм) для различных конфигураций системы формирования пучка на ускорительном источнике нейтронов VITA [5] (энергия протонов 2,0–2,2 МэВ, ток 0,5–1 мА, литиевая мишень для генерации нейтронов с выходом до $2 \times 10^{12} \text{ с}^{-1}$). Использовались замедлитель из полиэтилена с объёмным вкраплением висмута (полибиз) диаметром 155 мм, толщиной 72 мм с зазором 0,5 см относительно фантома; замедлитель из полибиза, окружённый графитовым отражателем толщиной 20 см с зазором 1 см; замедлитель из тяжёлой воды толщиной 8 см с зазором 1 см; и замедлитель из тяжёлой воды толщиной 16 см с зазором 1,5 см. Распределение потоков нейтронов и гамма-квантов измерено малогабаритным детектором с парой литиевых полистирольных сцинтилляторов диаметром 1 мм и высотой 1 мм, один из которых обогащён бором. Датчик без бора чувствителен к гамма-излучению, а датчик с бором дополнительно чувствителен к нейтронному излучению [6].

Основные результаты: Проведён всесторонний анализ распределений потоков нейтронов и гамма-квантов для четырёх конфигураций замедлителей в воздухе и водном фантоме. Показано, что водная среда существенно изменяет характеристики пучка за счёт рассеяния и поглощения. Замедлитель из полибиза обеспечивает наилучшее сочетание интенсивности, качества и глубины проникновения пучка. При этом качество пучка на поверхности водного фантома составляет 37,7 отн. ед., а среднее качество по глубине — 18 отн. ед. По сравнению с полибизовым замедлителем применение графитового



отражателя увеличивает интенсивность нейтронного пучка на поверхности, повышая поток нейтронов на 28,6%; однако одновременно возрастает и поток гамма-квантов (на 32,6%), что снижает качество пучка: на поверхности водного фантома оно падает до 6%, а среднее качество по глубине уменьшается до 4%. Тяжёлая вода обеспечивает более глубокое проникновение нейтронов, но ценой резкого снижения интенсивности. Так, замедлитель из тяжёлой воды толщиной 8 см уменьшает поток нейтронов на поверхности на 49%, а поток гамма-квантов — на 40%, что приводит к снижению качества пучка до 17,7% на поверхности водного фантома и среднего качества по глубине до 58%. При увеличении толщины замедлителя из тяжёлой воды до 16 см поток нейтронов на поверхности снижается на 74,8%, а поток гамма-квантов — на 65%, что в итоге уменьшает качество пучка на поверхности водного фантома на 38,5%. Полибиз остаётся оптимальным и наиболее сбалансированным вариантом для большинства клинических случаев, особенно при лечении поверхностных опухолей. Поэтому он считается подходящим выбором для облучения домашних животных (например, кошек), а также для облучения мышей в лабораторных экспериментах при проведении бор-нейтронозахватной терапии.





В этом докладе будут представлены и обсуждены характеристики нейтронного пучка, полученного с использованием различных конфигураций систем формирования пучка для бор-нейтронозахватной терапии (БНЗТ)

Финансирование: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 26-12-00020).

Список литературы:

1. W. Sauerwein *et al.* Neutron Capture Therapy: Principles and Applications. Second Edition. Cham: Springer Nature Switzerland, 2025.
2. S. Takeno *et al.* Analysis of boron neutron capture reaction sensitivity using Monte Carlo simulation and proposal of a new dosimetry index in boron neutron capture therapy. *Journal of Radiation Research* 63 (2022) 780-791.
3. T. Yamamoto, K. Nakai, A. Matsumura. Boron neutron capture therapy for glioblastoma. *Cancer Letters* 262 (2008) 143-152.
4. W. Jin *et al.* A review of boron neutron capture therapy: Its history and current challenges. *International Journal of Particle Therapy* 91 (2022) 71-82.
5. S. Taskaev *et al.* Neutron Source based on Vacuum Insulated Tandem Accelerator and Lithium Target. *Biology* 10 (2021) 350.
6. T. Bykov *et al.* Evaluation of depth-dose profiles in a water phantom at the BNCT facility at BINP. *JINST* 16 (2021) P10016.



Автоматизация физических экспериментов на установке VITA

Т.А. Быков, А.М. Кошкарев

*Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, Новосибирск, Россия
Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия*

В Институте ядерной физики СО РАН осуществляется разработка ускорительного источника нейтронов (установка VITA), предназначенного для проведения бор-нейтронозахватной терапии (БНЗТ) злокачественных опухолей. Поскольку установка также функционирует как центр коллективного пользования для широкого спектра физических экспериментов [1-3], регулярно возникает задача оперативной интеграции уникального оборудования сторонних исследовательских групп в общую инфраструктуру.

В докладе представлена архитектура информационной среды установки VITA. Рассматриваются принципы организации локальной сети, механизмы сетевого взаимодействия оборудования и централизованная система логирования параметров ускорителя.

Список литературы:

1. A. Badrutdinov, T. Bykov, S. Gromilov et al. *In Situ* Observations of Blistering of a Metal Irradiated with 2-MeV Protons. *Metals* 17 (2017) 558.
2. Ya. Kolesnikov, M. Bikchurina, T. Bykov et al. Using of vacuum insulated tandem accelerator for perspective materials irradiation by a fast neutron flux. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 571 (2026) 165968.
3. M. Bikchurina, T. Bykov, G. Verkhovod et al. Accelerator based Neutron Source VITA for Boron Neutron Capture Therapy and other Applications. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics* 90 (2026) 917–922.



Решения для ускорителя VITA-III

С.С. Савинов, Т.А.Быков, Я.А. Колесников, С.Ю. Таскаев

*Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, Новосибирск, Россия
Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия*

Ускоритель-тандем с вакуумной изоляцией предложен, создан и является основной частью ускорительного источника нейтронов VITA в ИЯФ СО РАН, изначально направленного для решения задачи создания ускорительного источника нейтронов для клинического применения метода бор-нейтронозахватной терапии (БНЗТ). На выходе из ускорителя получают мощный стационарный пучок протонов или дейтронов с энергией в диапазоне 0,1–2,3 МэВ и током от 0,5 до 10 мА.

В настоящее время разрабатывается концепция ускорительного источника нейтронов третьего поколения VITA-III для внедрения в онкологические центры. Она состоит в укорочении газовой обдирочной мишени, добавлении седьмого ускоряющего электрода, охлаждении диафрагмы высоковольтного электрода и модернизации входной диагностической камеры с возможностью перемещения диафрагмы и изменения ее потенциала для замедления инжектируемого пучка ионов.

Укороченная газовая обдирочная мишень уменьшает минимальный диаметр высоковольтного электрода, что потенциально делает ускоритель более компактным и дает возможность добавить один высоковольтный зазор для увеличения стабильности работы не увеличивая габариты вакуумного бака. При этом диаметр газовой обдирочной мишени также уменьшен для сохранения плотности аргоновой мишени. Принудительное охлаждение диафрагм высоковольтного электрода и самого электрода позволяет снизить его температуру, что уменьшает величину нежелательных темновых токов, снижает вероятность зажигания дуги и высоковольтных пробоев и позволяет увеличить ток получаемого пучка протонов. Предторможение инжектируемого пучка ионов снижает чувствительность ускорителя к точности ионно-оптического тракта и дает возможность фокусировки пучка протонов, в том числе и при более низком, чем оптимальном, потенциале высоковольтного электрода.

В докладе представлены и обсуждаются результаты предложенных и в большей части проверенных модификаций отдельных узлов ускорителя-тандема с вакуумной изоляцией и делается вывод об их применимости для установки VITA, используемой для научных исследований, и установки VITA-III, разрабатываемой для оснащения онкологических клиник.

Финансирование: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 26-12-00020)



Семи-зазорный ускоритель VITA-III

И.Н. Сорокин, С.Ю. Таскаев

*Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, Новосибирск, Россия
Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия
E-mail: I.N.Sorokin@inp.nsk.su*

В Институте ядерной физики СО РАН предложен, разработан и функционирует ускорительный источник нейтронов VITA, включающий в себя электростатический тандемный ускоритель заряженных частиц оригинальной конструкции (ускоритель-тандем с вакуумной изоляцией), литиевую нейтроногенерирующую мишень и ряд систем формирования пучка нейтронов. Установку VITA на площадке института активно используют для развития методики бор-нейтронозахватной терапии (БНЗТ) и других приложений, установку VITA-II α в БНЗТ центре госпиталя г. Сямынь (Китай) с 2022 г. используют для клинических испытаний методики БНЗТ, установку VITA-II β в НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина Минздрава России в Москве планируют с апреля 2027 г. использовать для клинических испытаний в России.

В докладе анализируются решения, реализованные в установках для получения требуемой энергии пучка протонов в районе 2,3 МэВ, обсуждаются результаты проведенных исследований и предлагается в следующей версии ускорителя вместо шести ускоряющих зазоров использовать семь без увеличения габаритов установки.



Оценка токсичности и накопления лития хлорида в эксперименте *in vitro* для литий-нейтронозахватной терапии

А.И. Касатова^{1,2}, Ю.С. Таскаева^{1,2}, Р. Диб^{2,3}, К.С. Кузьмина^{2,3}, С.Ю. Таскаев², Н.П. Бгатова¹

¹ Научно-исследовательский институт клинической и экспериментальной лимфологии – филиал ФИЦ ИЦиГ СО РАН, Новосибирск, Россия

² Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, Новосибирск, Россия

³ Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

E-mail: rahadeeb5@gmail.com

Бор-нейтронозахватная терапия (БНЗТ) представляет собой инновационный бинарный метод лечения злокачественных новообразований, основанный на избирательном накоплении стабильного изотопа бор-10 в опухолевых клетках с последующим облучением пучком тепловых нейтронов. Несмотря на клинические успехи, БНЗТ имеет ограничения, включая испускание гамма-квантов, уносящих часть энергии, и необходимость высокоселективных носителей бора. Стабильный изотоп литий-6 рассматривается как перспективная альтернатива бору-10, поскольку ядерная реакция ${}^6\text{Li}(n,\alpha){}^3\text{H}$ характеризуется вдвое большим энергосодержанием и отсутствием сопутствующего гамма-излучения, что теоретически повышает эффективность терапии и снижает неспецифическое воздействие на здоровые ткани [1,2]. Целью работы являлась оценка цитотоксичности и накопления лития хлорида, обогащенного легким изотопом (${}^6\text{Li}$), в эксперименте *in vitro* на различных клеточных линиях (дермальные фибробласты человека DF-1, клетки мышцы конечности домового крыса C2C12, клетки эмбриональной рабдомиосаркомы человека RD и клетки глиобластомы человека T98-G) при помощи МТТ-теста и атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. Показано, что концентрация 6 мМ хлорида лития-6 является безопасной в течение 24 часов инкубации, при продлении инкубации до 48 часов выживаемость клеток DF-1, RD и T98-G снижается примерно до 80% ($p < 0,05$). Накопление лития варьировало от 0,04 мкг/10⁶ клеток (C2C12) до 0,09 мкг/10⁶ клеток (DF-1), составив около 0,07–0,08 в T98-G и 0,06 мкг/10⁶ клеток в RD. Время инкубации (от 2 до 24 часов) не оказывало статистически значимого влияния на уровень накопления лития ни на одной из клеточных линий. Зафиксированные в нашем исследовании показатели аккумуляции лития находятся на схожем уровне с соответствующими значениями для бора при применении боркаптата, применявшегося в ряде клинических исследований.

Финансирование: Работа выполнена в рамках государственного задания НИИКЭЛ — филиал ИЦиГ СО РАН (№ FWNР-2025-0016).

Список литературы:

1. С.Ю. Таскаев. Ускорительный источник нейтронов VITA. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2024. - 248 с. + 8 с. цв. вкл. - ISBN 978-5-9221-1979-5.
2. I. Taskaeva, A. Kasatova, D. Surodin, N. Bgatova, S. Taskaev. Study of Lithium Biodistribution and Nephrotoxicity in Skin Melanoma Mice Model: The First Step towards Implementing Lithium Neutron Capture Therapy. *Life* 13 (2023) 518.



Расчетная дозиметрическая модель для бор-нейтронозахватной терапии биологических объектов

Я.В. Раздрогова¹, М.Ю. Азаркин¹, И.Н. Завестовская^{1,2}, Д.А. Касатов^{1,3,4}, М.Р. Киракосян¹,
Д.С. Петруня^{1,2}, С.Ю. Таскаев^{1,3,4}

¹ Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, Российская Федерация

² Национальный исследовательский центр "Курчатовский институт", Москва, Российская Федерация

³ Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, Новосибирск, Российская Федерация

⁴ Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Российская Федерация

E-mail: razdrogovaya@gmail.ru

В настоящей работе в программной среде Geant4 создана расчётная дозиметрическая модель для планирования и оптимизации протоколов доклинических *in vitro* и *in vivo* исследований БНЗТ на ускорительном источнике нейтронов VITA (ИЯФ СО РАН, г. Новосибирск). В рамках работы создана и верифицирована геометрия нейтроногенерирующей системы установки VITA и разработана библиотека детализированных программных фантомов биологических объектов различного уровня организации: клеточных культур, мелких лабораторных грызунов (мышей и крыс) и домашних животных со спонтанными опухолями (параметризованный фантом головы кошки). Для каждого фантома проведен расчет дозовых нагрузок при контрольных сценариях облучения, аналогичных проводимым на источнике нейтронов VITA.

Экспериментально и теоретически подтверждено, что замедлитель Poly-Biz толщиной 72 мм обеспечивает снижение интенсивности потока γ -излучения в 2,5 раза по сравнению с РММА, что делает его оптимальным для проведения БНЗТ на биологических объектах. Для *in vivo* исследований на мышах рассчитана конфигурация с добавлением полиэтиленовых рассеивателей, позволяющая повысить терапевтический коэффициент на 27% по сравнению с контрольным сценарием.

Для параметризованного фантома головы кошки с опухолью мозга рассмотрен реалистичный сценарий облучения с градиентом концентрации ^{10}B , имитирующим накопление дозообразующего агента в случае глиомы высокой степени злокачественности. Рассчитанный терапевтический коэффициент составил $k_{\text{BNCT}} = 7,21 \pm 0,16$, что таким образом подтверждает высокую селективность БНЗТ в рассмотренных условиях.

Разработанная дозиметрическая модель обеспечивает повышение достоверности и воспроизводимости доклинических исследований, рациональный подбор параметров облучения, сокращение временных и вычислительных ресурсов, а также способствует ускорению внедрения технологии БНЗТ в клиническую практику.

Финансирование:

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-62-00018, <https://rscf.ru/project/24-62-00018/>.