


**УТВЕРЖДАЮ**

Директор Института прикладной физики РАН

академик РАН  А.Г. Литвак

« 19 » ноября 2019 г.

## **ОТЗЫВ**

ведущей организации Института прикладной физики РАН

на диссертацию **Таскаева Сергея Юрьевича**  
“УСКОРИТЕЛЬНЫЙ ИСТОЧНИК ЭПИТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНОВ”,  
представленную на соискание учёной степени  
доктора физико-математических наук  
по специальности 01.04.01 “Приборы и методы экспериментальной физики”

Диссертация С.Ю. Таскаева посвящена исследованиям и разработке ускорительного источника эпитепловых нейтронов, включая изучение физических явлений и процессов в ускорителе-тандеме с вакуумной изоляцией, разработке и созданию литевой нейтроногенерирующей мишени, разработке новых принципов и методов измерения толщины литиевого слоя и спектра генерируемых нейтронов.

**Актуальность** диссертационной работы обусловлена расширением областей использования ускорителей заряженных частиц в медицине. Для такой перспективной методики лечения злокачественных опухолей, как бор-нейтронозахватная терапия (БНЗТ), требуются нейтроны с высокой плотностью потока в области верхней границы эпитеплового диапазона энергий. Требуемый поток нейтронов может быть получен с применением ускорителя заряженных частиц. Диссертационная работа С.Ю. Таскаева направлена на создание компактного ускорительного источника нейтронов, причем оптимизированного для БНЗТ. Следует отметить, что автор работы также предложил и запатентовал способ формирования пучка моноэнергетических нейтронов с практически любой энергией. Это актуально для калибровки детекторов слабозаимодействующих частиц, что выводит создаваемые автором разработки аппаратуры и методов далеко за границы медицинских приложений.

**Новизна** проведённых исследований определяется тем, что при определяющем участии С.Ю.Таскаева впервые предложен, создан и экспериментально изучен ускоритель-тандем с вакуумной изоляцией. Им



лично обоснована концепция оптимальной нейтроногенерирующей мишени для БНЗТ, проведены исследования для решения проблем теплосъема, блистеринга, напыления лития, наведённой активности, и создана специализированная мишень. Впервые предложена система формирования ортогонального нейтронного пучка, позволяющая достаточно просто проводить облучение пациента с разных сторон. Автором сформулирована постановка исследования *in vitro*, которая наглядно продемонстрировала эффект БНЗТ. Автором лично предложен и запатентован способ получения пучка моноэнергетических нейтронов.

**Научная и практическая ценность диссертации** состоит в создании экспериментальных образцов ускорителя-тандема с вакуумной изоляцией с протонным пучком в 2 МэВ и 1,6 мА и литиевой нейтроногенерирующей мишени, оптимальной для БНЗТ. Экспериментально продемонстрирована возможность создания компактных, безопасных и относительно недорогих медицинских установок для проведения БНЗТ в условиях онкологических клиник. Материалы диссертации могут быть использованы при решении ряда задач, включая терапию быстрыми нейтронами, калибровку детекторов слабозаимодействующих частиц и др.

Диссертация С.Ю. Таскаева состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Во введении дано краткое обоснование актуальности проблем, затрагиваемых в диссертации, сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена ускорителям заряженных частиц для БНЗТ. Сначала приведен обзор ускорителей, предложенных в мире за последние 25 лет. Затем описан электростатический ускоритель-тандем с вакуумной изоляцией, отличающийся удаленностью изолятора от ускорительного тракта и быстрым темпом ускорения заряженных частиц. Эти свойства позволяли надеяться на получение сильноточного протонного пучка в компактной системе. В главе приведены результаты проведенных исследований, анализ которых и найденные решения позволили получить протонный пучок с энергией 2 МэВ и током 1,6 мА.

Вторая глава посвящена нейтроногенерирующей мишени. Приведено научное обоснование выбора реакции генерации нейтронов, типа нейтроногенерирующей мишени и сформулированы основные требования к мишени, выполнение которых потребовало от автора решения целого ряда разнообразных проблем. Отметим как положительный факт комплексность подхода при решении проблем – был осуществлен не только анализ литературных источников и проведено теоретическое рассмотрение, но и предложены и реализованы экспериментальные исследования. Это относится к решению проблем теплосъема, напыления лития, радиационной стойкости, излучения и активации мишени. Все эти проблемы автором диссертации были успешно решены, и пригодная для БНЗТ мишень была создана и испытана.

В главе 3 приведены две новые системы формирования терапевтического пучка нейтронов для БНЗТ. Для припорогового режима генерации нейтронов предложено решение, позволяющее сохранить направленность потока нейтронов. Для общепринятого режима генерации нейтронов С.Ю. Таскаевым предложено решение формировать нейтронный поток в ортогональном направлении по отношению к протонному пучку, что привносит новое качество в терапию – позволяет проводить облучение пациента с разных сторон.

Глава 4 посвящена генерации нейтронов и результатам измерения потока, спектра и мощности дозы нейтронов. Отметим как положительный факт, что измерения потока нейтронов и их спектра были осуществлены двумя диагностическими методиками, при этом автором, в частности, было предложено и реализовано техническое решение, позволившее применить времяпролетную методику измерения спектра нейтронов при стационарном протонном пучке.

Глава 5 посвящена возможным областям применения созданного источника нейтронов и созданного ускорителя. В главе приведены результаты облучения выведенным потоком эпитепловых нейтронов клеточных культур, которые наглядно продемонстрировали избирательное уничтожение клеток опухоли методом БНЗТ. Автором представлена новая схема источника нейтронов, в котором помимо системы формирования ортогонального пучка нейтронов предложено расположить источник высокого напряжения внутри изолятора, на котором крепятся высоковольтный и промежуточные электроды ускорителя. Источник нейтронов становится компактным и действительно привлекательным для размещения в клинике. Далее в главе представлен новый способ формирования пучка моноэнергетических нейтронов с практически любыми энергиями и предложения по применению ускорителя со специализированными мишенями для терапии быстрыми нейтронами, для поиска взрывчатых и наркотических веществ, для генерации  $\alpha$ -частиц, позитронов.

В заключении приведены основные результаты работы.

Диссертация имеет чёткую структуру, хорошо соответствующую поставленным в ней задачам. Она написана грамотно, хорошо оформлена и снабжена большим количеством иллюстраций. Содержание работы достаточно полно представлено в публикациях автора. Автореферат диссертации адекватно отражает её содержание и даёт полное и ясное представление о ней.

**Достоверность и обоснованность научных положений** и выводов диссертации подтверждается многочисленными экспериментальными результатами, зачастую полученными несколькими методами, и их сравнением с теоретическими и численными моделями. Полученные результаты четко сформулированы в конце каждого параграфа и имеют, как



правило, ясную физическую интерпретацию. Результаты работы обсуждались с ведущими специалистами в области ускорительной техники и ядерной физики, докладывались на научных семинарах, российских и международных конференциях, опубликованы в научных журналах с высоким индексом цитирования.

Диссертация была представлена 10 ноября 2014 г. на расширенном научном семинаре Отдела Физики плазмы Института прикладной физики РАН. В семинаре приняли участие сотрудники других подразделений ИПФ РАН, а также Института физики микроструктур РАН и Института Ядерной энергетики и технической физики НГТУ им. Р.Е.Алексеева. Всего в семинаре приняли участие 26 участников, в том числе 6 докторов и 7 кандидатов наук, аспиранты, студенты.

Оценивая работу в целом, участники семинара отметили, что диссертация представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, выполненную на высоком уровне и на актуальную тему, включенную в перечень приоритетных направлений. Она вносит значительный вклад в область разработки приборов и методов экспериментальной физики, в физику ускорителей заряженных частиц, источников нейтронов и бор-нейтронозахватной терапии. Хотя многие исследования выполнены на стыке указанных научных дисциплин, основную роль в работе играют исследования в области приборов и методов экспериментальной физики. Тема диссертации соответствует специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики. Несмотря на наличие патента, а также значимых технических результатов, имеет заметно больше оснований быть отнесенной к физико-математическим наукам, нежели к техническим.

С.Ю. Таскаев лично внес основной вклад как в постановку рассмотренных в работе задач, так и в их решение. Следует также особо отметить, что основные идеи, выдвинутые С.Ю. Таскаевым, глубоко развиты в диссертации и в ряде случаев доведены до уровня действующих устройств, работоспособность и достоинства которых продемонстрированы в многочисленных экспериментах.

Диссертация является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным автором самостоятельно на высоком научном уровне. В работе приведены научные результаты, позволяющие ее квалифицировать как новое научное достижение, имеющее важное фундаментальное и социально-экономическое значение.

Результаты диссертации могут быть рекомендованы к использованию в таких организациях, как: ИЯФ СО РАН (Новосибирск), ФЭИ (Обнинск), ОИЯИ (Дубна), НИИЭФА (Санкт-Петербург) и ряде зарубежных центров, таких как Университет Цукубы, Университет Киото, Национальный онкологический центр в Токио (Япония), Тцин Хуа Университет (Тайвань) для развития ускорительной концепции нейтронозахватной терапии и ИТЭФ (Москва), НГУ (Новосибирск) для калибровки детекторов с целью поиска



темной материи. Разработанная автором диссертации концепция оптимальной нейтроногенерирующей мишени и конкретные решения ее изготовления уже реализованы в ряде зарубежных центров и компаний, таких как Sumitomo Heavy Industries Ltd., Hitachi, IBA и др.

В качестве замечаний к диссертации можно отметить следующее:

1. Параграф 2.5 “Обеспечение эффективного теплосъема”, изложен на 33 страницах, в то время как глава 3 “Система формирования пучка” – всего на 15 страницах. Возможно, главу 3 следовало было бы включить в предыдущую главу отдельным параграфом.

2. На страницах 136 и 138 представлен один и тот же рисунок.

3. Несколько нестандартный подход соискателя к структурированию тома диссертации составил определенную трудность в отыскании набора формальных аспектов и сопоставления их с текстом автореферата. В частности, публикации автора не выделены в отдельный список, а внесены в общий перечень цитированной литературы. Введение помимо краткого обоснования актуальности работы и положений выносимых на защиту по сути более не содержит традиционных формальных аспектов, а является лаконичным и доступным обзором состояния разработок и приложений БНЗТ.

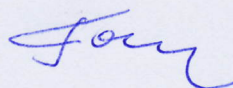
4. В Заключении автор немного изменил поразительной аккуратности в оформлении тома и ограничил нумерацию результатов пятью, что сначала создает иллюзию о слишком рыхлом и плохо структурированном заключительном результате. Реально же имеют место еще три вполне полноценных результата работы.

Сделанные замечания не снижают общей высокой оценки диссертационной работы. Как по уровню проведенных исследований, так и по полученным результатам диссертационная работа отвечает требованиям “Положения о присуждении учёных степеней” ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, а ее автор, Таскаев Сергей Юрьевич, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.01 “Приборы и методы экспериментальной физики”.

Заместитель директора по научной работе

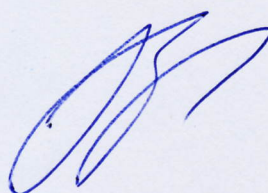
Института прикладной физики РАН

д.ф.-м.н., профессор

 С.В. Голубев

Ведущий научный сотрудник

ИПФ РАН д.ф.-м.н.



В.Ф.Вдовин