

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора физико-математических наук

Скалыги Вадима Александровича

на диссертационную работу

Касатова Дмитрия Александровича

«Исследование материалов нейтроногенерирующей мишени для бор-нейтронозахватной терапии»,

представленную в диссертационный совет 24.1.162.02 на базе

Федерального государственного бюджетного учреждения науки

Института ядерной физики им. Г.И. Будкера

Сибирского отделения Российской академии наук,

на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

по специальности 1.3.18. Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника

Актуальность работы:

В настоящее время источники нейтронов используются в широком спектре фундаментальных и прикладных исследований: медицина, материаловедение, системы безопасности, нейтронография и т.д. К основным типам нейтронных источников можно отнести следующие системы: изотопные или ампульные источники, ускорители, нейтронные генераторы, реакторы, различного вида пинчи. Для целого ряда приложений требуются компактные безопасные безреакторные нейтронные источники.

В диссертационной работе Д.А. Касатова рассматриваемый нейтронный источник на основе тандемного ускорителя в первую очередь оптимизирован для исследований в области бор-нейтронозахватной терапии (БНЗТ). БНЗТ – один из наиболее перспективных новых методов лучевой терапии онкологических заболеваний. Преимущества БНЗТ уже были продемонстрированы при лечении новообразований, устойчивых к любым другим видам терапевтических воздействий. Уникальные результаты были получены при проведении нейтрон-захватной терапии наиболее злокачественной и агрессивно протекающей опухоли головного мозга – мультиформной глиобластомы, а также при облучении метастазов меланомы – одного из наиболее радиорезистентных новообразований. До недавнего времени большинство исследований в области БНЗТ проводились с использованием потоков нейтронов от мощных экспериментальных ядерных реакторов. Для широкого внедрения методики БНЗТ в медицинскую практику необходимы более компактные и недорогие источники эпитепловых нейтронов, разработкой которых успешно занимаются в ИЯФ СО РАН.

Данная диссертационная работа посвящена исследованиям свойств материалов, применяемых для изготовления нейтроногенерирующей мишени, одного из наиболее важных элементов нейтронного источника, построенного на основе tandemного ускорителя заряженных частиц. Перечисленные тезисы подтверждают факт того, что тема диссертационной работы Д.А. Касатова является важной и актуальной.

Новизна подхода и основные результаты:

Научная новизна и значимость полученных автором результатов состоит, прежде всего, в получении данных, необходимых для разработки надежной и эффективной нейтроногенерирующей мишени для медицинского источника нейтронов.

В работе были эффективно использованы возможности tandemного ускорителя ИЯФ СО РАН для исследований материалов, используемых в конструкции нейтроногенерирующей мишени. Проведен ряд экспериментов, позволивших уточнить некоторые данные о сечениях важных процессов, например, измерено сечение реакции неупругого рассеяния протона на атомном ядре лития, и впервые измерен выход 478 кэВ фотонов из толстой литиевой мишени при энергии протонов в диапазоне от 0,65 МэВ до 2,225 МэВ.

Впервые измерены мощность дозы и спектр рентгеновского и γ -излучения, мощность дозы нейтронного излучения при поглощении 2 МэВ протонов в различных конструкционных материалах и спектр излучения остаточной активности. Определен перечень материалов, наиболее подходящих для изготовления мишени.

Впервые количественно определена разница в уровне нежелательного γ -излучения на толстой и тонкой литиевых мишенях, определены оптимальные для БНЗТ параметры нейтроногенерирующего слоя лития.

Впервые проведено подробное исследование процесса блистеринга на поверхности меди и тантала при их облучении 2 МэВ протонами. Определен порог образования блистеров.

Достоверность полученных результатов:

Исследования свойств и характеристик материалов, применяемых при изготовлении мишенного узла нейтронного источника, проведены с использованием целого ряда экспериментальных методик, а их объем весьма значителен. Работы, выполненные с использованием различных (в некоторых случаях дублирующих друг друга) методов диагностики, сравнение их результатов с существующими аналогами и теоретическими расчетами, широкое обсуждение полученных данных

на специализированных международных конференциях, публикации в ведущих научных журналах не вызывают сомнения в обоснованности и достоверности научных положений и выводов. Проведенные исследования позволили предложить и разработать надежную и долговечную нейтроногенерирующую мишень, оптимизированную для применения в области бор-нейтронозахватной терапии онкологических заболеваний, прототипы которой уже реализованы и испытаны.

Результаты диссертации докладывались на многочисленных российских и международных конференциях и представлены в 5 научных статьях в международных и российских журналах (в журналах из перечня ВАК при Минобрнауки России).

Практическая значимость полученных автором результатов:

Практическая значимость диссертации не вызывает сомнений. Результаты диссертационной работы могут использоваться в исследовательских, проектных и конструкторских организациях, работающих в области физики ускорителей заряженных частиц, нейтронной физики. В случае сертификации методики бор-нейтронозахватной терапии полученные результаты лягут в основу серийных образцов нейтроногенерирующих мишеней медицинских установок.

Содержание диссертации и ее завершенность:

Работа выстроена логично, ее структура и содержание отражают цели и задачи исследования. Работа представляется законченным научным трудом, отличающимся подробным изучением физических свойств материалов мишенного узла нейтронного источника. Результаты Д.А. Касатова, изложенные в диссертации, являются, несомненно, новыми и обладают большой научной значимостью, соответствуют мировому уровню исследований в области разработки нейтронных источников на основе ускорителей заряженных частиц и, в значительной степени, определяют его.

Замечания и пожелания:

Как и любая большая работа представленная диссертация имеет ряд незначительных недостатков.

Название диссертационной работы вводит в некоторое заблуждение. При его прочтении кажется, что в работе будет проводится сравнение различных материалов нейтроногенерирующего слоя мишени. В действительности рассматривается только литий. Кажется, что изменение названия на «Исследование материалов конструкции

нейтроногенерирующей мишени ...» позволило бы избежать такого двойного толкования.

Первая глава диссертации фактически не содержит данных, имеющих прямое отношение к выполненным автором исследованиям, раздел является обзорным, описывает методику БНЗТ и конструкции мишеней на других установках и по логике должен входить во введение к работе.

Во второй главе на стр. 41-42 делается утверждение: «применение в качестве подложки тонкой литиевой мишени алюминия, меди, молибдена и тантала позволяет уменьшить мощность дозы нежелательного гамма-излучения без уменьшения потока нейтронов». При этом в работе не приведено прямых экспериментальных данных, демонстрирующих уровень нейтронного выхода с мишеней разной толщины. Также было бы интересно видеть в работе количественные данные о достигнутом нейтронном выходе.

В разделе 2.2 диссертации на рисунках 29, 31 и 32 не указана ошибка выполненных измерений, хотя в тексте она обсуждается. Представление графических данных с учетом ошибки упростило бы визуальное сравнение с результатами предшественников. Также хочется отметить, что сравнение точности полученных данных с работами 1951, 1954 и 1972 годов на стр. 53 выглядит странно. Совершенно очевидно, что методики измерений существенно улучшились за 50 лет. В тоже время, сравнение с результатами других исследовательских групп, полученными в 21 веке, демонстрирует хорошее соответствие в пределах ошибки.

На стр. 55 сказано: «Размещение спектрометров в отдельном помещении за толстой стеной позволило значительно уменьшить фоновый сигнал и снизить мертвое время HPGe спектрометра до значения, не превышающего 4 %». Возникает вопрос, каким было мертвое время спектрометра на меньших расстояниях от источника, в положениях А и В? Не могло ли его более высокое значение повлиять на достоверность измерений?

Несогласованным выглядит набор утверждений автора о влиянии блистеринга на эффективность мишени:

- на стр. 6 в описании значимости результатов сказано: «установлено, что образование блистеров на медной подложке мишени не приводит к деградации выхода нейтронов»;

- на стр. 67 отмечено: «Как уже подчеркивалось во введении Главы 3, блистеринг ограничивает время эксплуатации мишени [113-118]»;

- в выводах третьей главы на стр. 108 сказано: «При этом неочевидно, что после появления блистеров на поверхности медной подложки мишени ее нельзя будет продолжать применять для генерации нейтронов».

Позиция автора о проблеме блистеринга после прочтения работы остается неясной. Если отсутствие влияния блистеринга на генерацию нейтронов было установлено экспериментально, то описание таких результатов в диссертации, несомненно, украсило бы ее. Если влияние блистеринга мало, то в чем причина противоречий с работами [113-118]?

В главе 4 приводится много информации о результатах биологических исследований в области БНЗТ. Желание автора поделиться замечательными результатами понятно, но они имеют лишь косвенное отношение к предмету диссертации, в рамках биологических исследований не проводилось сравнений данных с разными конструкциями мишени.

В главе 4 не приводятся выводы и не формулируются результаты, что не в полной мере соответствует формату диссертационной работы. Тезис о важности замены стали на алюминий в мишенном узле перечислен даже в положениях, выносимых на защиту, следовало его отметить и как основной результат четвертой главы.

Диссертация была бы еще лучше, если в качестве заключительной главы было приведено подробное техническое описание оптимизированной мишени, ее характеристик, были бы представлены данные о ресурсных испытаниях, определено ее время жизни.

Отмеченные недостатки ни в коей мере не снижают важности и достоверности полученных в диссертации Д.А. Касатова результатов. В целом, диссертационная работа производит очень хорошее впечатление.

Оценка автореферата диссертации:

Автореферат полностью раскрывает основные положения диссертации. В качестве замечания можно отметить очень краткое описание содержания первой и четвертой глав.

Заключение оппонента по диссертации Д.А. Касатова на соискание ученой степени кандидата наук:

Диссертация Касатова Дмитрия Александровича «Исследование материалов нейтроногенерирующей мишени для бор-нейтронозахватной терапии» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.18. (Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника) 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.

Диссертационная работа Д.А. Касатова «Исследование материалов нейтроногенерирующей мишени для бор-нейтронозахватной терапии» полностью соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.18. Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

Я, Скалыга Вадим Александрович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Касатова Дмитрия Александровича, и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент,
Скалыга Вадим Александрович
Доктор физико-математических наук
Специальность 01.04.08 «Физика плазмы»,
адрес: 603950, Россия, г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, д. 46
тел: +7 (915) 949-27-11
эл. почта: skalyga@ipfran.ru
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный исследовательский центр Институт прикладной
физики Российской академии наук»
Заместитель директора по научной работе

«02» марта 2022 г.

Подпись В.А. Скалыги заверяю
Ученый секретарь ИИФ РАН



 В.А. Скалыга

 И.В. Корюкин