

ОТЗЫВ

официального оппонента кандидата физико-математических наук

Швецова Валерия Николаевича

на диссертационную работу

Бикчуриной Марины Игоревны

«Исследование генерирующих свойств литиевой мишени»,
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:

Диссертационная работа М.И. Бикчуриной посвящена исследованию свойств литиевой мишени. Актуальность исследований обосновывается растущим применением бор-нейтронозахватной терапии (БНЗТ) для лечения раковых заболеваний. Суть метода заключается в селективном насыщении клеток опухоли борсодержащими препаратами (с бором, обогащенным изотопом ^{10}B , которого в естественном боре 19,9%) и последующем облучении нейтронами с целью индуцировать ядерную реакцию $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$, в результате которой образуются два ядра – альфа частица и ядро лития, обладающие суммарным пробегом в тканях человеческого тела около 10 μm и кинетической энергией чуть менее 3 МэВ, что гарантированно приводит к гибели клетки, в которой произошел захват нейтрона. В большинстве проектов для генерации нейтронов используется литиевая мишень, облучаемая пучком протонов с энергией выше пороговой для реакции $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$. Актуальной задачей остается исследование и подтверждение генерирующих свойств литиевой мишени для планирования и проведения терапии.

В диссертационной работе М.И. Бикчуриной представлены результаты, полученные в ходе экспериментов с литиевой генерирующей мишенью для исследований и непосредственного медицинского применения в области БНЗТ.

Рецензируемая диссертационная работа изложена на 138 страницах, состоит из введения, 4 глав и заключения, содержит 44 рисунков, 10 таблиц и список литературы из 164 наименований.

Во введении обосновывается актуальность работы, сформулированы цели, задачи, научная новизна, теоретическая и практическая значимость результатов,

приведены формулировки научных положений, выносимых на защиту, описан личный вклад автора.

В первой главе приведена актуальная информация по методам измерения выхода нейтронов, сечения реакций и элементного состава литиевой мишени. Впечатляет оснащение установки, на которой проведено исследование, дозиметрическим и спектрометрическим оборудованием и впечатляет тот факт, что ранее никем не было достигнуто согласия между экспериментально измеренным и расчетным выходом нейтронов из литиевой мишени, несмотря на острую необходимость.

В следующих трех главах диссертационной работы представлены результаты проведенных исследований.

Во второй главе приведено краткое описание ускорительного источника нейтронов ВИТА, описаны его параметры и основные части конструкции. Сама глава посвящена измерению полного выхода нейтронов из литиевой мишени. Соискателем проведен весьма длинный и сложный эксперимент, начиная со скрупулезно выполненной калибровки γ -спектрометра, исследования изменения энергии протонного пучка ускорителя со временем и непосредственно измерению количества сгенерированных нейтронов на литиевой мишени по накопленному радиоактивному изотопу бериллий-7 в ходе реакции ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$. Впервые проведено сравнение экспериментальных данных с расчетными значениями и показано их соответствие с достаточной точностью. Результаты эксперимента особенно важны в преддверии клинических испытаний в Российской Федерации.

В третьей главе исследуется элементный состав литиевой мишени и его изменение с течением времени под пучком протонов, что ранее никем не проводилось. Помимо изучения мишени в стандартных условиях соискателем проведено исследование влияния экспозиции мишени на воздухе разной влажности на состав мишени, а также проведен эксперимент при критически высокой плотности мощности пучка протонов. Полученные результаты безусловно будут полезны для дальнейшей работы с литиевой мишенью и будут одними из определяющих для условий изготовления мишеней для БНЗТ и дальнейшего обращения со свежими и облученными мишенями. Несомненным достоинством этого раздела диссертации является также детальное сравнение различных методов элементного анализа поверхности.

В четвертой главе описан эксперимент по измерению сечения ядерной реакции ${}^7\text{Li}(p,\alpha){}^4\text{He}$. В главе приведены результаты расчетов как дифференциального, так и полного сечения данной реакции. Особое внимание уделено применению высокоточного

in situ метода измерения толщины литиевого слоя. Также в главе приведен краткий обзор работ по измерению сечения реакции ${}^7\text{Li}(p,\alpha){}^4\text{He}$.

В заключении представлены основные результаты работы.

Научная новизна диссертационной работы:

Научная новизна и значимость полученных автором результатов не подлежит сомнению. Работа содержит результаты, полученные впервые: измерение выхода нейтронов из литиевой мишени, определение элементного состава мишени, измерение сечения ядерной реакции ${}^7\text{Li}(p,\alpha){}^4\text{He}$ в диапазоне энергий от 0,5 до 2 МэВ, проведенное с высокой точностью благодаря применению уникального метода определения толщины литиевого слоя.

Научная и практическая значимость полученных результатов:

Практическая значимость диссертации не вызывает сомнений. Она состоит в том, что измерен выход нейтронов из литиевой мишени, уже используемой для терапии пациентов в Китае и планируемой к использованию в России, что критически важно для планирования терапии и оценки ее результатов. Получено понимание того, почему слой лития оказывается стойким к воздействию сухого воздуха, что может быть полезным при разработке технологии поставки мишени от производителя потребителю. Установлено, что достоверное сечение ядерной реакции ${}^7\text{Li}(p,\alpha){}^4\text{He}$ представлено в базе данных ядерных реакций JENDL 4.0, а не в ENDF/B VIII.0 или TENDL 2019.

Обоснованность и достоверность полученных результатов:

Достоверность и обоснованность результатов диссертационной работы не вызывает сомнений.

Обсуждение полученных данных на специализированных международных и российских конференциях, публикации в ведущих научных журналах подтверждают обоснованность и достоверность научных положений и выводов.

Результаты диссертации докладывались на 4 международных и 3 российских и конференциях и представлены в 5 научных статьях, из них четыре в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК и одна в сборнике тезисов докладов научных конференций. Все работы проиндексированы в международных базах данных SCOPUS и Web of Science Core Collection. Исследования поддержаны Российским научным фондом (Соглашение № 19 72 30005, 2019–2022), компанией TAE Technologies, Inc., США (контракт № 17 132, 2017–2020), персональными грантами молодежного конкурса «Рентгеновские, синхротронные, нейтронные методы междисциплинарных исследований» (2022 и 2023).

Содержание диссертации и ее завершенность:

Содержание диссертационной работы **соответствует паспорту научной специальности 1.3.18. Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника** в области исследования «Расчетно-теоретические и экспериментальные исследования взаимодействий пучков заряженных частиц с электромагнитными полями, друг с другом, с молекулами остаточного газа и мишенями» (п. 7 паспорта специальности).

Замечания и пожелания:

Значимых замечаний к диссертационной работе нет. Ниже приведен ряд уточняющих вопросов и предложений.

1. Для определения полного сечения реакции ${}^7\text{Li}(p,\alpha){}^4\text{He}$ необходимо подтверждение изотропности излучения продуктов реакции или измерение зависимости дифференциального сечения реакции от угла и его интегрирование по углу. В диссертационной работе приведено теоретическое рассмотрение реакции, приведен анализ имеющихся данных и измерено дифференциальное сечение реакции при двух углах, из которых сделан вывод об изотропности излучения в системе центра масс, вполне убедительный. Вместе с тем, если бы дифференциальное сечение реакции было бы измерено при большем количестве углов, в том числе при угле близком или равном 90° , то это бы добавило достоверности полученному результату. Также можно пожелать диссертанту в дальнейших работах по этой реакции проанализировать экспериментальные данные других авторов, которые, так же, как и данные библиотек, имеют существенный разброс.
2. Хотелось бы увидеть сравнение результатов определения выхода нейтронов из реакции ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$ по активности ${}^7\text{Be}$ с непосредственными измерениями плотности потока нейтронов нейтронным детектором, например, калиброванным всеволновым счетчиком нейтронов или камерой деления с ${}^{235}\text{U}$, поскольку представляется, что для планирования и проведения реальных облучений пациентов информация о характеристиках нейтронных полей должна получаться в режиме реального времени.

Оценка автореферата диссертации:

Автореферат полностью раскрывает основные положения диссертации. Замечаний к автореферату нет.

Заключение оппонента по диссертации М.И. Бикчуриной на соискание ученой степени кандидата наук:

Диссертация Бикчуриной Марины Игоревны «Исследование генерирующих свойств литиевой мишени» 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 методом БНЗТ.

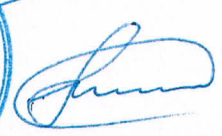
Диссертационная работа М.И. Бикчуриной «Исследование генерирующих свойств литиевой мишени» полностью соответствует требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание 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, Швецов Валерий Николаевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Бикчуриной Марины Игоревны, и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент,
Швецов Валерий Николаевич
Кандидат физико-математических наук
Специальность 01.04.16 «Физика атомного ядра и элементарных частиц»,
адрес: 141980, Московская область, г. Дубна, ул. Жолио-Кюри, д. 6
тел: 8-496-21-659-25
эл. почта: shv@nf.jinr.ru
Международная межправительственная организация Объединенный институт ядерных исследований
Начальник Отделения ядерной физики, Лаборатория нейтронной физики им. И.М. Франка


/В.Н. Швецов/

Подпись В.Н. Швецова удостоверяю
Ученый секретарь ЛФ ОИЯИ


/Дорота Худоба/

«07» августа 2024 г.

