

ОТЗЫВ

официального оппонента кандидата физико-математических наук
Дегтярева Игоря Ивановича
на диссертационную работу

Штейн Татьяны Викторовны
«Оптимизация системы формирования пучка нейтронов 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:

Диссертация Шейн Т.В. посвящена разработке и созданию ключевых элементов системы формирования пучка (СФП), состоящей из замедлителя, отражателя, поглотителя и фильтра, клинической установки для реализации перспективной и востребованной методики лечения злокачественных опухолей — бор-нейтронозахватной терапии (БНЗТ), обеспечивающей высокую избирательность уничтожения опухолевых клеток за счет накопления в них бора с последующим облучением нейтронным потоком оптимального энергетического спектра. Локальное выделение большого количества энергии в результате захвата нейтрона в реакции $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$ приводит к гибели клеточных структур. Одним из ключевых преимуществ БНЗТ является возможность лечения новообразований, радиорезистентных по отношению к иным видам терапевтических воздействий.

В диссертационной работе Т.В. Шейн представлены результаты, полученные в ходе разработки оптимизированной системы формирования пучка нейтронов ускорительного источника с литиевой мишенью в реакции $^7\text{Li}(p,n)^7\text{Be}$ для непосредственного клинического применения в области БНЗТ.

В настоящее время подобные системы являются весьма востребованными для развития клинического потенциала лучевой терапии в России, что делает диссертационную работу Штейн Т.В. несомненно актуальной.

Новизна подхода и основные результаты:

Представленная на отзыв диссертационная работа Т.В. Шейн имеет значительную научную и практическую новизну, заключающуюся в определении оптимального для БНЗТ диапазон энергии нейтронов, энергии протонов, размеров и материалов замедлителя отражателя, разработке конструкции СФП и ее практической реализации.

Цель и задачи диссертационной работы Т.В. Шейн сформулированы на основе проведенного обзора научных публикаций, отражающих мировой опыт исследований в данной области.

Для достижения поставленной цели была произведена модификация расчетного кода статистического моделирования переноса нейтронов NMC (Neutral particles Monte-Carlo code): добавлен источник нейтронов на основе реакции ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$, источник фотонов на основе реакции ${}^7\text{Li}(p, p'\gamma){}^7\text{Li}$, источник фотонов в нейтронных реакциях, перенос γ -излучения, блок для обработки рассеяния тепловых нейтронов и функционал для расчёта дозы. Данная модификация основана на разработанных диссертантом алгоритмах и обладает самостоятельной научной новизной и практической ценностью.

В процессе проведения вариантных расчетов было установлено, что

- для клинической бор-нейтронозахватной терапии оптимально генерировать нейтроны в реакции ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$ при энергии протонов 2,3 МэВ и использовать составной замедлитель из фторида магния и фторида алюминия и составной отражатель из свинца и графита.
- для проведения научных исследований по бор-нейтронозахватной терапии с использованием клеточных культур и лабораторных животных оптимально генерировать нейтроны в реакции ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$ при энергии протонов 2,05 МэВ и использовать водородосодержащий замедлитель (оргстекло, полиэтилен) с объёмным вкраплением висмута.

Все оригинальные физические и конструкторские решения и методики, предложенные автором, прошли успешную экспериментальную апробацию, что также подробно описано в диссертационной работе.

Достоверность полученных результатов:

Исследования используемых материалов и их оптимальных геометрических параметров проведены с использованием значительного числа вариантных расчетов.

Сравнительный анализ результатов с опубликованными экспериментальными исследованиями и теоретическими расчетами, широкое обсуждение полученных данных на специализированных отечественных и международных конференциях, публикации в ведущих научных журналах не вызывают сомнения в **обоснованности** и достоверности **научных положений и выводов**. Проведенные исследования позволили предложить и разработать оптимальные СФП в области бор-нейтронозахватной терапии онкологических заболеваний, которые уже реализованы и испытаны.

Результаты диссертации докладывались на 4 российских и 6 международных конференциях и представлены в 10 научных статьях в отечественных и международных высокорейтинговых журналах (в журналах из перечня ВАК при Минобрнауки России).

Практическая значимость полученных автором результатов:

Практическая значимость диссертации не вызывает сомнений и имеет большое практическое значение для развития отечественной БНЗТ. Результаты, отраженные в диссертационной работе, уже нашли применение при разработке и изготовлении ключевых узлов нейтронных источников медицинского назначения и, несомненно, будут востребованы в дальнейшем при разработке установок БНЗТ.

Содержание диссертации и ее завершенность:

Логика построения работы, ее структура и содержание в полной мере отражают цели и задачи исследования. Диссертация представляется законченным научным трудом, отличающимся подробным анализом требований к СФП, изучением свойств используемых материалов, геометрических параметров элементов, развитием диагностических методов и подтверждением клинической эффективности на основе большого количества исследований с клеточными культурами и лабораторными животными, позитивным результатом лечения домашних животных со спонтанными опухолями. Результаты Т.В. Шейн, изложенные в диссертации, безусловно, обладают новизной, качеством исследований мирового уровня и высокой научной значимостью в данной предметной области.

Замечания и пожелания:

Значимых замечаний к диссертационной работе нет. Ниже приведен выявленный ряд незначительных некорректностей и предложений по дальнейшему совершенствованию исследования.

1. В разделе **Личный вклад автора** статус используемой библиотеки ядерных данных ENDF/B VII.0 определен как “рекомендованные”, в то время как они имеют статус “оцененные”.
2. В комментарии к рисунку 1 (раздел.1.1) не отражен компонентный химический состав и плотность облучаемой биоткани.
3. В таблице 2 при указании названия используемого в системе дозиметрического планирования NeuCure Dose Engine расчетного кода допущена ошибка: вместо JEANT4 следует указать GEANT4.
4. При проведении расчетных исследований использовалась устаревшая версия библиотеки ядерных данных ENDF/B - ENDF/B VII.0 (2006 г.) и препроцессинговый комплекс NJOY99. На текущий момент актуальными являются версия библиотеки ENDF/B VIII.1 (2025 г.) и коды NJOY2016 и NJOY2021 (они свободны от экспортных ограничений и находятся в свободном доступе). Альтернативно возможно использовать отечественный комплекс подготовки констант GRUCON. При проведении дальнейших исследований рекомендуется обновить константное обеспечение и программы подготовки констант расчетного кода.
5. В Главе 2 не приведено описание реализованного блока обработки рассеяния тепловых нейтронов.
6. На рисунках 16 б) и 18 б) отсутствуют подписи координатных осей
7. Излишне компактно описан биологический раздел (Глава 5) исследования.

Оценка автореферата диссертации:

Автореферат соискателя в полной мере отражает положения и выводы, содержащиеся в диссертации. Замечания к автореферату отсутствуют.

Заключение оппонента по диссертации Т.В. Шейн на соискание ученой степени кандидата наук:

Высказанные выше замечания не снижают научной новизны и практической ценности выполненной работы и не оказывают значимого влияния на общую положительную оценку. Диссертация Шейн Татьяны Викторовны «Оптимизация системы формирования пучка нейтронов 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

