

## ОТЗЫВ

отечественного научного консультанта  
на диссертационную работу Толеновой Ақтолқын Усербекқызы  
«Разработка модели генерации и выделения трития из метатитаната лития  
в условиях нейтронного облучения», представленную на соискание степени  
доктора философии (PhD) по образовательной программе  
«8D05308 – Ядерная физика»

В связи с проблемой истощения экономически доступных энергоресурсов в настоящее время важной задачей является разработка новых источников энергии, не связанных с ископаемым топливом, которые смогут внести значительный вклад в производство энергии в долгосрочной перспективе, включая возобновляемые источники энергии, атомную и термоядерную энергетику. При этом именно термоядерная энергетика имеет практически безграничные ресурсы и является наиболее оптимальной с точки зрения безопасности и воздействия на окружающую среду.

Одной из важнейших задач в создании термоядерного реактора (ТЯР) с дейтерий-тритиевым топливным циклом является поиск и изучение функциональных материалов blankets ТЯР для воспроизводства и выделения трития. Решению проблемы создания новых функциональных материалов для blankets ТЯР посвящено большое количество научных публикаций, и особенное внимание при этом уделяется литийсодержащим керамкам.

Данная диссертационная работа посвящена разработке комплексной модели, описывающей процессы генерации и выделения трития из одного из наиболее перспективных керамических материалов – метатитаната лития  $Li_2TiO_3$  в условиях нейтронного облучения. Работа выполнена на основе экспериментальных данных по облучению метатитаната лития  $Li_2TiO_3$  тепловыми нейтронами в вакууме на исследовательском реакторе ВВР-К (ИЯФ, г. Алматы).

Докторантом Толеновой А.У. был проведён обзор существующих методов компьютерного моделирования и моделей, которые применяются сегодня для исследования генерации и выделения трития из засыпки шариков литийсодержащей керамики blankets термоядерных реакторов. Было показано, что для описания эксперимента в вакууме необходимо создать новую комплексную модель, учитывающую температурное поле по сферическому образцу, что ранее не было реализовано.

Докторантом проведён анализ имеющихся экспериментальных данных и выполнен большой цикл работ по моделированию кинетики выделения трития из керамики в условиях реакторного облучения методом конечных элементов с использованием программной среды COMSOL Multiphysics. В итоге была разработана новая комплексная модель, описывающая процессы изменения температуры и наработки/выделения трития в единичном керамическом элементе  $Li_2TiO_3$ .

На основе разработанной комплексной модели, с использованием экспериментальных данных, проведено моделирование зависимости выделения трития из  $Li_2TiO_3$  в условиях вакуума, что позволило определить параметры

температурной зависимости коэффициента диффузии и константы десорбции трития. Также были выполнены расчёты изменения температурного поля и распределения трития по сферическому образцу в процессе эксперимента, которые показали значительную неравномерность температуры и концентрации трития.

Используя разработанную модель, были сделаны оценки времени удержания трития в образцах метатитаната лития — ключевого параметра для материалов blankets ТЯР. Подтверждено, что время удержания трития зависит от диаметра единичного элемента и обогащения керамики изотопом лития-6. Для исследователей разработан удобный алгоритм выполнения расчётов с использованием данной комплексной модели, особенно актуальный для небольших исследовательских экспериментов по облучению литиевых засыпок в вакууме.

Результаты диссертации являются существенным вкладом в работы по анализу результатов уникальных дорогостоящих реакторных экспериментов в области изучения генерации и выделения трития из литиевой керамики. Разработанная комплексная модель предоставляет ценный инструмент для планирования реакторных экспериментов, который позволяет оптимизировать параметры исследования. Также эти результаты могут быть полезны для совершенствования технологий создания новых материалов для генерации трития и улучшения их характеристик в условиях нейтронного облучения.

Результаты диссертационной работы были представлены на международных научных конференциях и семинарах, опубликованы в изданиях, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан, а также в международных рецензируемых рейтинговых журналах с высокими наукометрическими показателями. В частности, результаты исследований опубликованы в журналах *Journal of Nuclear Materials* (2025, IF = 3.2, Q1, перцентиль – 86-й), *International Journal of Hydrogen Energy* (2021, IF = 8.3, Q1, перцентиль – 91-й) и *Fusion Engineering and Design* (2021, IF = 2.0, Q2, перцентиль – 66-й).

В связи с вышеизложенным, считаю, что диссертационная работа Толеновой Ақтолқын Усербекқызы по своей научной новизне и практической значимости полностью соответствует требованиям, предъявляемым к работам на соискание степени доктора философии (PhD), а Толенова Ақтолқын Усербекқызы заслуживает присуждения степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D05308 «Ядерная физика».

**Отечественный научный консультант,  
кандидат физико-математических наук**

**Кенжин Е. А.**

*Заверено*



*Кенжин Е. А.*

*Дубовицкий А.*