

## ОТЗЫВ

Дополнительного члена Совета ДС.ТПУ.03 Ремнёва Геннадия Ефимовича на диссертационную работу Понкратова Юрия Валентиновича «Экспериментальные исследования процессов взаимодействия изотопов водорода с жидким литием в условиях нейтронного облучения» представленную по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния на соискание ученой степени кандидата физ.-мат. наук. \_

### 1. Актуальность избранной темы

Представленные в диссертации исследования ядерных реакций в литии в присутствии изотопов водорода и тепловых нейтронов, несомненно актуальны для решения проблем материаловедения термоядерных реакторов. Одной из таких является выбор материалов, обращенных к реакторной плазме (аналогом можно считать первую стенки ядерных реакторов). В настоящее время по мнению мировой научной общественности наиболее перспективным материалом для этого является литий. Поэтому исследуемые в диссертации процессы при взаимодействии изотопов водорода с жидким литием в условиях его нейтронного облучения очень актуальны и своевременны.

### 2. Научная новизна

Разработаны и созданы оригинальные методики, моделирующие (имитирующие) условия в термоядерном реакторе с помощью ядерного реактора, что позволило впервые получить экспериментальные данные о процессах в жидком литии, вызванных изотопами водорода (реакторный плазмы) в совокупности с нейтронным облучением. В частности, :

определены параметры сорбции (десорбции) изотопов водорода жидким литием;

обнаружен эффект ускорения процессов поглощения изотопов водорода жидким литием под действием реакторного облучения нейтронами;

установлено, что выделение трития из жидкого лития во время облучения до температуры 350 °С происходит в виде молекулы DT и DTO, а при более высоких температурах (до 800 °С) в виде молекулы T<sub>2</sub>;

на основании полученных экспериментальных результатов разработаны теоретические модели исследованных процессов.

### 3. Достоверность полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Полученные в данной работе результаты представляются достоверными и основаны на использовании современных взаимодополняющих верифицированных методов исследования. Статистическая обработка

полученных данных проводилась с заданной вероятностью и необходимым количеством повторных испытаний. Полученные результаты не противоречат данным опубликованным в отечественной и мировой научной литературе по теме исследований. Опубликованные автором в рейтинговых изданиях материалы по теме исследования и полученные патенты также свидетельствуют о достоверности полученных результатов.

#### **4. Научная и практическая значимость полученных автором результатов**

Детальное описание процессов взаимодействия лития с изотопами водорода в условиях одновременного воздействия нейтронного облучения и высоких тепловых нагрузок существенно дополняет имеющуюся базу данных о свойствах лития и об изменении его свойств в условиях работы ТЯР. Полученные новые данные позволяют расчетно-экспериментальными методами обосновать использование жидкого лития в качестве материала, обращенного к плазме, как на действующих установках управляемого термоядерного синтеза, так и при разработке будущих термоядерных реакторов. Практическая значимость работы определяются разработками оригинальных методик и экспериментальной базы для определения параметров взаимодействия изотопов водорода с конструкционными и функциональными материалами ядерных и термоядерных установок в процессе реакторного облучения, возможностью создания теоретических моделей поведения изотопов водорода в жидких металлах и сплавах в процессе облучения.

#### **5. Анализ содержания работы**

Текст диссертации состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы, включающего 90 наименований. В работе имеется 68 рисунков, 20 таблиц и 49 формул. Общий объем диссертации равен 129 страницам. Список публикаций содержит более 20 статей, в том числе, журналах из списка ВАК и высокорейтинговых международных и 4 патента республики Казахстан.

**Во введении** описывается актуальность работы, сформулированы цели и поставлены задачи исследования, указаны основные положения, выносимые на защиту, приводятся результаты исследований, обосновывающие научную новизну и практическую значимость работы.

**В первой главе** приведены обзор и анализ литературных данных по применению литиевых технологий в установках управляемого термоядерного синтеза. Приводится подробное описание свойств лития, а также его взаимодействия с другими химическими элементами и соединениями. Описывается концепция применения лития в ТЯР качестве обращенного к плазме материала и рассматриваются его преимущества перед традиционными

твердыми материалами. Также обсуждаются работы по применению литиевых технологий на имеющихся в мире токамаках.

**Вторая глава** посвящена технике и методикам проводимых экспериментов. В ней приводится описание исследовательской ядерной установки ИВГ.1М, расположенной в филиале ИАЭ НЯЦ РК, и описание экспериментального стенда ЛИАНА, предназначенного для проведения работ по изучению процессов взаимодействия изотопов водорода с различными материалами в условиях реакторного облучения. Описываются ампульные устройства (АУ), предназначенные для проведения экспериментов по облучению лития в жидкой фазе и жидкого лития, стабилизированного в металлической матрице, так называемой капиллярно-пористой структуре (КПС). В главе приводятся также выполненные в обоснование меры безопасности проведения реакторных экспериментов и выбора необходимых экспериментальных режимов результаты нейтронно-физических и теплофизических расчетов разработанных ампульных устройств.

**В третьей главе** описываются сценарий и ход проведения экспериментов, и приводятся полученные экспериментальные данные. Эксперименты проводились с образцами жидкого лития и литиевой КПС, которые были загружены в центральный экспериментальный канал ядерного реактора ИВГ.1М. Всего было реализовано несколько серий вне реакторных и реакторных экспериментов. Исследования процессов взаимодействия лития с изотопами водорода в условиях нейтронного облучения проводились с использованием метода газовой абсорбции. В результате проведенных работ были получены значения абсолютного давления водорода в АУ в зависимости от температуры исследуемых образцов и плотности нейтронного потока. Описаны эксперименты и приведены их результаты, касающиеся выделения трития и тритий-содержащих молекул в зависимости от температуры лития

**Четвертая глава** содержит теоретический анализ экспериментальных данных, полученных результате проведенных исследований взаимодействия жидкого лития и литиевой КПС с изотопами водорода при нейтронном облучении. Использовались как аналитические, так и численные (реализованные в известных и хорошо зарекомендовавших себя программных пакетах) методы расчетов. Определено, в частности, что главным фактором эффекта (выявленного экспериментально) увеличения скорости сорбции водорода жидким литием при нейтронном облучении может являться ускорение конвективных потоков в жидком металле, вызванного значительным градиентом температуры по литию. Кроме того, разработаны модели, описывающие механизмы воздействия нейтронного излучения на параметры сорбции (десорбции) изотопов водорода жидким литием и на процессы генерации и выхода трития из лития. Рассчитаны константы взаимодействия изотопов водорода с литием; температурные зависимости скорости потоков жидкого лития в образце при различных мощностях реактора; выявлена зависимость коэффициента эффективности выделения трития из лития в

процессе реакторного облучения и определены коэффициенты эффективности выделения гелия и трития из жидкого лития в процессе реакторного облучения; рассчитана энергия активации высвобождения трития из ловушек (распад тритида) при температуре выше 500 °С, которая составила порядка 16 кДж/моль.

Результаты работы многократно апробированы на международных конференциях. Таким образом, работа соответствует всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям по физ.-мат. наукам.

**6. Личный вклад автора.** Заключается в разработке цели и задач исследования, в сборе и анализе данных по применению лития в обращенных к плазме материалов ТЯР, в разработке конструкции ампульных устройств, участие в разработке методики и проведении экспериментов на реакторе ИВГ.1М, в обработке и анализе полученных результатов, в разработке моделей процессов взаимодействия жидкого лития с изотопами водорода в условиях тепловых и радиационных нагрузок.

**7. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.**

**8. Достоинства и недостатки в содержании и оформлении диссертации**

Отмеченные ниже замечания снижают качество работы в целом, но они не влияют на теоретические и практические результаты и выводы.

Замечания по диссертации и автореферату.

1. Не указан диапазон энергий нейтронов при облучении ими лития?
2. Метод определения градиента температуры во время облучения?
3. Насколько близко условия проведения реакторных экспериментов соответствуют реальным условиям в установках управляемого термоядерного синтеза – сопоставление ?
4. Каков состав примесей исследованного лития?

#### **Заключение.**

Принимая во внимание вышеизложенное, считаю, что диссертация «Экспериментальные исследования процессов взаимодействия изотопов водорода с жидким литием в условиях нейтронного облучения» отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, изложенным в п. 2.1 Порядка присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском Томском политехническом университете. Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, а Понкратов Юрий Валентинович заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния.

Я, Ремнёв Геннадий Ефимович, даю свое согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Дополнительный член Совета,  
доктор физ.-мат наук, профессор, заведующий научно-производственной лабораторией Импульсно-пучковых, электроразрядных и плазменных технологий Томского политехнического университета

«20» ноября 2023 г.

634050, г. Томск, пр-кт Ленина, д. 30, НИ ТПУ  
тел.: +7 (383) 429-4000, факс: +7 (383) 429-4001, e-mail: remnev@tpu.ru

Подпись Ремнева Г.Е. заверяю,  
Ученый секретарь НИИ ТПУ



\_\_\_\_ Ремнев Г.Е.

\_\_\_\_ Кулинич Е.А.