Краткая информация о проекте

Наименование	ИРН AP23490402 «Экспериментальное исследование взаимодействия плазменного потока с внутрикамерными материалами термоядерных энергетических реакторов».
Актуальность	Согласно прогнозам, к 2050 году население планеты увеличится почти на 2 миллиарда. С ростом населения значительно увеличится уровень мирового энергопотребления. Запас ископаемых видов топлива (газа, угля и нефти) серьезно ограничен, а возобновляемые источники электроэнергии сталкиваются с технологическими проблемами крупномасштабного хранения энергии. В условиях роста потребностей в электроэнергии, исследования по управляемому термоядерному синтезу (УТС) очень актуальны. Несмотря на многообещающие исследования, ученые работают над освоением этого процесса на протяжении нескольких десятков лет. Коммерческое использование потенциала термоядерного синтеза как источника электроэнергии требует решения ряда сложных научных и инженерных задач. Эффективность термоядерного синтеза напрямую зависит от продолжительности эксплуатации термоядерного энергетического реактора (ТЯЭР). Мощный поток выделяющейся энергии в процессе термоядерной реакции существенно воздействует на внутренние компоненты реактора и разрушает их материалы. Исследование поведения материалов в процессе воздействия является чрезвычайно важным. Следует подчеркнуть, что необходимо провести соответствующие испытания опытных образцов на базе устройств, моделирующих срывы плазмы в токамаке для получения данных об элементарных процессах, происходящих на поверхности твердого тела. В мировом научном сообществе исследования по термоядерному синтезу представляют большой научный и практический интерес. Результаты физических исследований способствуют развитию науки в области физики плазмы и материаловедения и повышению научного потенциала и конкурентоспособности страны в энергетической сфере. Помимо этого, достижение значимых результатов в области управляемого термоядерного синтеза способствуют развитию профессиональных компетенций научных работников.
Цель	Цель проекта заключается в изучении взаимодействия плазменного потока с различными внутрикамерными материалами термоядерного энергетического реактора для оценки их поведения, устойчивости и возможного влияния на эффективность работы установки, а также в определении оптимальных материалов для использования в ТЯЭР.
Задачи	1) Оптимизация режимов работы экспериментальной установки «Импульсный плазменный ускоритель PW-7»: ослабление создаваемого установкой электромагнитного шума, повышение функциональности системы заземления, улучшение качества электромагнитной энергии передаваемый в электродную систему от накопительных конденсаторов.

	2) Исследование взаимодействия импульсного плазменного потока при различных температурах мишени (вольфрам, нитрид бора) в магнитном поле с конфигурациями, соответствующими диверторной области ТЯЭР. 3) Исследование процесса образования блистеров (пузырьков) при воздействии импульсного плазменного потока на вольфрамовые пластины в зависимости от параметров инородного поверхностного слоя. 4) Экспериментальное исследование процесса водородного охрупчивания внутрикамерных материалов ТЯЭР на моделирующей установке «импульсный плазменный ускоритель PW-7». Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) и рентгеноструктурный анализ облученных образцов. 5) Разработка и сборка конструкционных узлов экспериментальной установки для исследования процессов, происходящих при взаимодействии плазмы с поверхностью жидких металлов. Разработка конструктивных решений и технологий изготовления мишеней из жидкого металла. 6) Экспериментальное моделирование взаимодействия импульсного плазменного потока с поверхностью жидких металлов. Исследование процесса пылеобразования, анализ поверхностного состояния и определение потери массы мишени из жидкого металла после плазменного облучения.
Ожидаемые и достигнутые результаты	– Модернизирована ранее разработанная экспериментальная установка, а именно, оптимизированы электродная и энергонакопительная системы, снижены уровни электромагнитных помех: повышена функциональность системы заземления. – Проведен качественный и количественный анализ морфологии и структуры поверхности материалов до и после обработки импульсным плазменным потоком. Эрозия и изменение морфологии поверхности рассматривались в зависимости от мощности и энергии плазменного потока, от количества импульсов, от температуры, расположения и конфигурации мишени. – Проведено исследование блистеров (пузырьков), образующихся на поверхности материалов при обработке импульсным плазменным потоком. Изучены возможные механизмы формирования блистеров, в частности механизмы, связанные со скоплением газа в тонких пленках, осажденных на поверхности материалов после плазменной обработки. – Проведено исследование поведения материалов при взаимодействии с водородным плазменным потоком. Изучено влияние водорода на охрупчивание и разрушение внутрикамерных материалов ТЯЭР. – Будут получены экспериментальные результаты о взаимодействии импульсного плазменного потока с жидкими металлами (данные об эрозии, СЭМ снимки поверхности до и после обработки плазменным потоком). Будут рассмотрены возможности и перспективы использования жидких металлов в установках управляемого термоядерного синтеза. Будет исследовано влияния жидких металлов на плазму. – Будет исследовано пылеобразование из поверхности

	жидких металлов. Будут изучены возможные механизмы пылеобразования. Будут исследованы морфология и состав пылевых частиц.
Имена и фамилии членов исследовательской группы с их идентификаторами (Scopus Author ID, Researcher ID, ORCID, при наличии) и ссылками на соответствующие профили	*1) Рамазанов Тлеккабул Сабитович* – доктор физико-математических наук, профессор. Scopus Author ID – 6701328029, Researcher ID – E-2785-2016. https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701328029, https://www.webofscience.com/wos/author/record/637797 *2) Досболаев Мерлан Қылышұлы* – кандидат физико-математических наук, профессор. Scopus Author ID – 24337997900, Researcher ID – O-2180-2014. https://orcid.org/0000-0002-0724-1793, https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=24337997900, https://www.webofscience.com/wos/author/record/1608723 *3) Муратов Мухит Мухаметнурович* – доктор PhD, доцент. Scopus Author ID – 16488595800, Researcher ID – O-2126-2014. https://orcid.org/0000-0001-7270-9834, https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=16488595800, https://www.webofscience.com/wos/author/record/1456695 *4) Тәжен Әйгерім Бегімханқызы* – доктор PhD, и.о. доцента. Scopus Author ID – 57199648847, Researcher ID – GEO-0596-2022. https://orcid.org/0000-0002-3277-2086, https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57199648847, https://www.webofscience.com/wos/author/record/30040981 *5) Холмирзаев Абдулла Нуриддинович* – докторант 2-го курса. https://orcid.org/0009-0003-4108-0879, https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=58659919400, https://www.webofscience.com/wos/author/record/52820991
Использование	Результаты, ожидаемые в рамках данного проекта, будут использоваться для решения одной из важнейших исследовательских задач – освоение технологии управляемого термоядерного синтеза. В частности, они будут использоваться для выбора и изготовления конструкционных материалов термоядерного реактора, для оптимизации профиля плазмы и стабилизации плазменных неустойчивостей, для контроля уровня пылеобразования в ТЯЭР.
Приоритет в сравнении с реальными аналогами	В предлагаемом проекте планируется изучение возможного пылеобразования при воздействии импульсного плазменного пучка на мишени из материалов на основе бора и нитрида бора. Также будут проанализированы поверхностные и структурные свойства мишени с целью выявления эффекта от радиационных и термических нагрузок при различных удельных энергиях плазменного пучка. В рамках проекта также предусматривается изучение взаимодействия импульсного плазменного пучка с мишенью из нитрида бора. Материалы на основе бора, в частности гексагональный и кубический нитриды бора являются термоустойчивыми материалами, которые имеет высокий коэффициент поглощения нейтронов и являются хорошим изолятором с низкой стпененью распыления. Нитрид бора может использоваться в качестве защитного материала некоторых

	структурных элементов (поверхностный функциональный слой дивертороов, диэлектрические кожухи и держатели измерительных приборов и т.д.) в установках термоядерного синтеза.
Список публикаций с ссылками на них	*Conferences:* 1) M.K. Dosbolayev, A.B. Tazhen, T.S. Ramazanov. Studies of the formation and distribution of cracks and various defects on the surface of candidate materials of thermonuclear reactors during the influence of a pulsed plasma flux // 8 th Asia-Pacific Conference on Plasma Physics, 3-8 November 2024. – Malacca. https://www.aappsdpp.org/DPP2024/html/3contents/pdf/5210.pdf 2) Тәжен Ә.Б. Исследование воздействия импульсного потока плазмы на материалы термоядерного реактора // Международная научная конференция студентов и молодых ученых «ФАРАБИ ӘЛЕМІ», 4-6 Апрель 2024. – Алматы, с. 373. https://drive.google.com/file/d/1Ka-39aOu63V_zSgs_ElaUusY__VXByAw/view?usp=sharing 3) M.K. Dosbolayev, A.B. Tazhen, A.N. Kholmirzayev, T.S. Ramazanov. Study of dust formation on the surface of a tungsten plate under the influence of plasma flows in the PW-7 installation // Tenth International Conference on the Physics of Dusty Plasmas, 19-23 May 2025. – Eindhoven. https://icpdp2025.dryfta.com/87-program/89-program-icpdp 4) Тәжен Ә.Б. Экспериментальное моделирование взаимодействия плазмы с материалами стенки термоядерного реактора // Международная научная конференция студентов и молодых ученых «ФАРАБИ ӘЛЕМІ», 3-5 Апрель 2025. – Алматы, с. 372. https://drive.google.com/file/d/1KeiPbr3Bngop82fHFHi7BaO-DsyO9cWo/view?usp=sharing *Articles:* A.B. Tazhen, M.K. Dosbolayev, A.N. Kholmirzayev, Y.A. Ussenov, T.S. Ramazanov. Influence of preheating on tungsten damage under pulsed hydrogen plasma exposure // Nuclear Materials and Energy, *Manuscript Number: JNME-D-26-00047. (Under Review).* (Nuclear Materials and Energy индексируется в Science Citation Index Expanded и входящем в 1 (первый) квартиль в базе Web of Science).
Информация о патентах	Патент на полезную модель «Способ определения температуры разряда с помощью оптической эмиссионной диагностики». *Авторы:* Аширбек А.И., Рамазанов Т.С., Муратов М.М. *Номер и дата получения патента:* № 10220, 21.02.2025 г.