

О Т З Ы В

официального оппонента на диссертацию Дмитриева Артема Михайловича
**«Высокочастотный емкостной разряд и его взаимодействие с поверхностью
диагностических зеркал в условиях ИТЭР»**

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук по специальности 01.04.08 - "Физика плазмы"

Актуальность темы диссертации.

Диссертационная работа А. М. Дмитриева без сомнений актуальна. Проблема осуществления термоядерного синтеза стоит перед человечеством уже не первое десятилетие и, несмотря на это, возникают все новые проблемы. Одной из таких проблем является разработка и осуществление методов диагностики высокотемпературной плазмы, обеспечивающих надежные и повторяемые результаты в условиях работы реальных токамаков. В работе А. М. Дмитриева основное внимание уделяется разработке системы плазменной очистки внутривакуумных диагностических зеркал, обращенных к термоядерной плазме международного экспериментального токамака-реактора ИТЭР. Для надежной работы ИТЭР требуется диагностическое оборудование для контроля температуры, давления, магнитных полей, энергии и плотности излучения, а также других рабочих параметров. Поэтому эффективность диагностического оборудования в жестких радиационных условиях термоядерного реактора является важным фактором в работе ИТЭР. Наличие внутривакуумных оптических компонентов в ИТЭР продиктовано удаленностью термоядерной плазмы от границы вакуума и необходимостью защиты персонала токамака от высокоинтенсивных потоков нейтронного и гамма излучения. Для прохождения пучков диагностических лазеров из диагностических помещений внутрь токамака, а также для сбора рассеянного плазмой света в ИТЭР будут использоваться специально спроектированные перископические устройства. Ближайшие к плазме диагностические зеркала будут подвержены интенсивным тепловым нагрузкам и осаждению пленок, состоящих из материалов распыляемых с поверхности первой стенки основного объема (бериллий) и

дивертора (вольфрам), а также из их соединений с кислородом и азотом. Появление таких осадений на поверхности диагностических зеркал может привести к деградации их оптических свойств и некорректной работе оптических диагностических комплексов. Таким образом, время от времени необходимо проводить мероприятия по очистке поверхностей зеркал от сформировавшихся на них осадений. Указанные факторы делают разработку системы очистки актуальной и оправданной. Суммируя вышесказанное, можно определить цель работы как разработку и апробацию методов очищения поверхности оптических зеркал с помощью использования высокочастотного емкостного разряда (ВЧЕ). Очевидно, что актуальность темы диссертации не вызывает сомнений. Следует также заметить, что актуальность темы не исчерпывается проблемами ИТЭР, поскольку в работе фактически рассматриваются вопросы плазменного травления, которое используется во многих практических приложениях.

Основное содержание работы.

В первой главе приведен обзор литературы по исследованию модификации металлических зеркал в результате экспозиции термоядерных установках.

Во второй главе содержится описание установок, в которых проводилось исследование параметров ионных потоков ВЧЕ разряда, обсуждаются результаты экспериментов по исследованию зависимости параметров ВЧЕ разряда от широкого спектра управляющих параметров.

В третьей главе приведено описание методики оценки скорости очистки от осадений с поверхности диагностических зеркал. Приведены результаты экспериментов по распылению металлических осадений, полученных различными методами: магнетронным осаждением и осаждением в результате импульсного плазменного воздействия в установке КСПУ-Ве.

В четвертой главе представлены результаты экспериментов по исследованию ВЧЕ разряда в геометрии макета охлаждаемого диагностического зеркала.

В заключении сформулированы основные результаты работы, четко сформулированы выводы диссертационной работы.

В целом диссертация представляется законченным научным исследованием, в котором решена важная научная задача - создание и апробирование методики восстановления работоспособности диагностических оптических зеркал после интенсивного воздействия на них материалов, распыленных высокотемпературной плазмой.

Научная новизна и основные результаты.

Научная новизна работы Дмитриева А.М. заключается в следующем:

- произведен выбор диапазона оптимальных параметров ВЧЕ разряда, при котором исходя из предполагаемых условий эксплуатации первых диагностических зеркал обеспечивается приемлемая скорость очистки металлических осадений при минимальном воздействии на поверхность оптических компонентов,
- предложена методика учета формы функции распределения ионов по энергиям при оценке эффективности чистки металлических и диэлектрических осадений в приближении объемного материала,
- экспериментально подтверждена применимость системы охлаждения, выполненной на основе короткозамкнутой четвертьволновой коаксиальной линии,
- исследовано влияние продолжительной экспозиции в плазме ВЧЕ разряда на морфологию поверхности металлических зеркал,
- обнаружено различие механизмов, влияющих на модификацию морфологии в разрядах дейтерия и неона,
- проведены эксперименты по удалению бериллийсодержащих осадений в плазме ВЧЕ разряда,
- выполнена апробация предлагаемых решений на масштабированном макете охлаждаемого первого диагностического зеркала активной спектроскопической диагностики краевой плазмы токамака ИТЭР.

Практическая значимость работы и рекомендации по использованию.

Практическая значимость работы А.М. Дмитриева состоит в том, что на

основании предложенной автором методики оценки влияния распределения ионов по энергиям на скорость распыления были выработаны рекомендации по выбору оптимального диапазона параметров ВЧЕ разряда; на основании проведенного исследования влияния плазмы ВЧ разряда на поверхность металлических зеркал сделаны рекомендации по выбору их материала; продемонстрирована применимость системы водяного охлаждения зеркала, выполненной по принципу короткозамкнутого четвертьволнового коаксиального кабеля. Описанные в диссертации исследования позволяют перейти к стадии конструирования узлов первого диагностического зеркала, оснащенных системой плазменной чистки, а результаты исследования пространственной неоднородности распыления могут быть использованы для оптимизации конструкции первых зеркал.

Как уже отмечалось, работа производит хорошее впечатление. Однако, по тексту диссертации можно сделать несколько замечаний.

1. На рисунке 2.1.2 приведены результаты численного и экспериментального измерений профиля магнитного поля в вакуумной камере экспериментального стенда №1, однако на рисунке 2.1.5 для экспериментального стенда №2 приведены лишь результаты численного расчета.

2. На стр. 47 приводится оценка взаимосвязи энергии ионов в слое и поглощенной в разряде мощности. Следовало бы упомянуть, что указанная зависимость справедлива для значений ВЧ мощности много больше необходимой для поддержания горения разряда.

3. На стр. 69 приведен график зависимости максимальной энергии ионов в слое от величины внешнего магнитного поля. Следовало бы дополнить эту зависимость графиком функции распределения ионов по энергии для различных значений магнитного поля.

Указанные замечания не влияют на научную и практическую значимость диссертационной работы и на общую высокую положительную оценку. Работа написана на хорошем научно-техническом уровне, читается легко, материал

изложен аргументированно с детальным объяснением логики рассуждений и обработки экспериментального материала. Защищаемые научные положения и выводы обоснованы. Результаты на основе которых сформулированы выводы диссертации, получены автором лично. Диссертация А. М. Дмитриева представляет собой законченную научно-квалификационную работу. Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации, тема и материалы которой соответствуют специальности 01.04.08 – «Физика плазмы» и содержит все необходимые формулировки целей и задач исследований, положений, выносимых на защиту, научной новизны и практической значимости. Результаты, полученные в диссертационной работе, могут быть использованы в научных организациях, где исследуется плазма и газовый разряд (СПбГУ, СПбПУ Петра Великого, МГУ им. М.В.Ломоносова, МИФИ, МФТИ, Новосибирский ГУ, ИСЭ СО РАН (г. Томск), ДГУ (г. Махачкала) и др.), а также в преподавании дисциплин, связанных с физикой плазмы, газовым разрядом, взаимодействием плазмы с веществом.

С учетом сказанного выше, можно констатировать, что диссертационная работа Дмитриева Артема Михайловича «Высокочастотный емкостной разряд и его взаимодействие с поверхностью диагностических зеркал в условиях ИТЭР» выполнена на высоком научном уровне, является завершенной квалификационной работой и соответствует всем требованиям п.п. 9-11 «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства РФ от 24.09.2013 № 842), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 – «Физика плазмы».

Доктор физико-математических наук,

заведующий кафедрой оптики

физического факультета СПбГУ,

199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7—9,

+7 (812) 428-44-84; +7 (911) 704-12-11,

niktimof@yandex.ru




Николай Александрович Тимофеев

Личную подпись заверяю

начальник отдела кадров №3

Н. И. Маштепа



 13.10.2020

Документ подготовлен
в порядке исполнения
трудовых обязанностей