

# ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу Касатова Александра Александровича  
“ИССЛЕДОВАНИЯ ПЛАЗМЫ И ОБРАЩЁННЫХ К ПЛАЗМЕ МАТЕРИАЛОВ С  
ПОМОЩЬЮ ОПТИЧЕСКИХ IN SITU ДИАГНОСТИК”,  
представленную на соискание учёной степени кандидата физико-  
математических наук по специальности 1.3.9. - Физика плазмы

Управляемый термоядерный синтез (УТС) остается одним из самых привлекательных и перспективных источников чистой энергии для удовлетворения глобальных потребностей в долгосрочной перспективе. По своей природе, синтез обещает практически неисчерпаемый источник энергии с минимальным радиоактивным следом, что делает его ключевым элементом в стратегии декарбонизации мировой энергетики. В последние десятилетия международное сообщество активно сосредоточило усилия на разработке систем с замкнутым магнитным удержанием плазмы, о чем свидетельствуют масштабные проекты, такие как ITER и последующий демонстрационный реактор DEMO. Российская Федерация также играет важную роль в этом процессе, ведя собственные активные исследования, направленные на развитие и реализацию потенциала управляемого синтеза. Параллельно с замкнутыми конфигурациями, развивается и исследуется концепция открытых магнитных систем удержания плазмы, представленная такими установками, как ГДЛ и ГОЛ-3. Особенностью подобных систем является их способность удерживать плазму при высоком отношении давления плазмы к магнитному давлению (бета), которое может достигать порядка единицы. Это делает открытые системы крайне важными для исследования физики плазмы в экстремальных условиях. Независимо от геометрии магнитного поля, ключевым условием для прогресса УТС является точное знание распределения параметров плазмы (температуры и плотности) внутри плазменного шнура. Ответ на этот вопрос дает диагностика томсоновского рассеяния, которая обеспечивает детальную локальную информацию, необходимую для оптимизации режимов работы и верификации моделей удержания. Кроме того, наиболее краеугольным камнем на пути к созданию коммерческого реактора остается так называемый вопрос первой стенки — поверхности реактора, непосредственно контактирующей с высокоэнергетическим потоком плазмы. Эрозионная устойчивость конструкционных материалов под воздействием такой интенсивной нагрузки критически важна для обеспечения надежности, долговечности и экономической целесообразности всей концепции УТС.

В этой связи, тематика диссертационной работы Александра Александровича Касатова, посвященная указанным вопросам, представляется весьма важной и актуальной. Это подтверждает и цель работы, состоящей в решении фундаментальных проблем современной физики плазмы — создании методов диагностики плазмы и методов диагностики взаимодействия больших потоков энергии с материалами. Прежде всего, с точки зрения решения проблемы управляемого термоядерного синтеза.

Несомненно, что тема и содержание диссертации соответствуют специальности 1.3.9 – Физика плазмы.

Диссертация состоит из Введения, трех глав, Заключения, и Списка цитируемой литературы. А вот отдельного списка публикаций автора по теме диссертации нет, что затрудняет работу с текстом – это можно отнести к недостаткам диссертации.

Остановимся кратко на анализе основных результатов и положений диссертации, следуя ее тексту.

Введение диссертации полностью соответствует установленным требованиям: в нем детально обоснована актуальность темы, четко сформулированы цель работы, научная новизна и практическая значимость исследования, а также представлено краткое изложение содержания. Обзор современного состояния проблемы и существующих методов ее решения выполнен с опорой на наиболее современные и высокоцитируемые источники, что придает этой части самостоятельную научную ценность. Завершают Введение подробное описание личного вклада автора в полученные результаты и ясное изложение положений, выносимых на защиту.

Первая глава посвящена детальному описанию системы диагностики Томсоновского рассеяния (ТР), созданной специально для установки ГОЛ-3. Эта уникальная система позволила проводить измерения параметров плазмы в двух пространственных сечениях и в два дискретных момента времени за один плазменный импульс, что имеет критическое значение для изучения высокотурбулентной плазмы в условиях открытых магнитных ловушек. Система ТР обеспечила высокое временное и пространственное разрешение, что позволило не только измерить профили плотности и температуры электронов, но и проследить динамику этих величин. Среди ключевых экспериментальных результатов: регистрация быстрых флуктуаций плотности плазмы в режиме инжекции релятивистского электронного пучка; измерение профилей температуры и плотности электронов при инжекции слаборелятивистского длинноимпульсного пучка в газ. На основе этих данных был сделан вывод: наблюдаемое СВЧ излучение в некоторых режимах не может быть полностью объяснено существующей моделью генерации на основной и второй гармониках электронной плазменной частоты.

Вторая глава посвящена описанию результатов экспериментов по исследованию механизмов эрозии материалов при мощной импульсной тепловой нагрузке. В ходе экспериментов был исследован абляционный факел, было показано, что он состоит из нейтрального вольфрама с незначительной долей ионов. Исследование абляционного факела показало его существенную неоднородность при удалении от образца. Исследование динамики интенсивности излучения позволило определить скорость расширения абляционного факела. Исследованы скорости микрочастиц. Экспериментально показано, что при некоторых условиях места вылета частиц соответствуют областям с повышенной температурой поверхности - краям трещин в материале.

В третьей главе диссертации описаны исследования каплевой эрозии материала мишени при помощи техники лазерного рассеяния. Система малоуглового лазерного рассеяния позволила определить размеры микрочастиц и установить зависимость между размером частицы и её скоростью. Было установлено, что скорость эрозии существенно

возрастает при нагрузках в 3–4 раза превышающих порог плавления вольфрама. Важной особенностью созданной диагностики является то, что с помощью неё возможно изучение процессов разрушения неметаллических материалов, в частности, керамик.

Безусловно, целый ряд новых и важных научных результатов, полученных соискателем, с интересом будет воспринят специалистами, работающими в соответствующей области.

В целом диссертация Александра Александровича Касатова является законченной научно-исследовательской работой, в которой с единой точки зрения решен значительный круг задач физики плазмы, имеющих важное научное и практическое значение для современной науки.

Диссертационная работа не имеет существенных недостатков, однако, как и по отношению ко всякой достаточно объемной и серьезной работе, по содержанию и оформлению диссертации А.А. Касатова можно сделать ряд замечаний.

1. Четвёртое положение, выносимое на защиту, содержит утверждение о вылете частиц вольфрама при вскипании расплавленного слоя при ударном квазистационарном тепловом воздействии. Данный эффект недостаточно подробно рассмотрен в тексте диссертации.
2. В конце раздела 1.1 рассуждение о воздействии излучения диагностического лазера на параметры плазмы не доведено до логического конца.
3. Ряд рисунков со схемами установок в печатной версии диссертации трудно читаем. На рисунках 1.3, 1.5, 1.10, 2.34 и 3.9 некоторые элементы не видны.
4. В некоторых случаях описание становится слишком подробным, например, при описании эффекта Поккельса и эффекта Керра в разделе про двух-импульсный задающий лазерный генератор, но при этом основные параметры созданного устройства - диаметр пучка и M2 остались не указаны.
5. Не указаны итоговые полученные значения светосилы и контрастности спектрометра, используемого в системе томсоновского рассеяния.
6. На стр. 53 делается утверждение, что измеренное быстрое изменение профиля электронной плотности может соответствовать турбулентным процессам в плазме, в частности, ленгмюровскому коллапсу. Хорошо бы подкрепить это утверждение оценками.
7. Выводы первой главы содержат утверждение, которое не обсуждалось в тексте. А именно: «...показано, что возникающее при этом СВЧ излучение не всегда может быть объяснено изначально предполагаемой моделью генерации на основной и второй гармониках электронной плазменной частоты».
8. Не указаны условия обработки мишеней приведенных на рисунках 2.7 – 2.9.
9. На стр. 71 делается утверждение о том, что при удалении от мишени изменяется ширина линий излучения. Это не видно на рис. 2.14. С учетом плотности линий излучения и аппаратной ширины на спектре нет ни одной уединенной линии, уширение линий нельзя пронаблюдать в этой системе.

Несмотря на отмеченные недостатки, общее впечатление от диссертации весьма благоприятное. Созданы уникальные системы диагностики и с их помощью получены важные научные результаты.

Александр Александрович Касатов безусловно является высококвалифицированным специалистом в области экспериментальной физики плазмы. Основные результаты диссертации А.А. Касатова опубликованы в высокоцитируемых научных изданиях, неоднократно докладывались на конференциях, в том числе и международных, и хорошо известны специалистам.

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

Считаю, что диссертационная работа А.А. Касатова «ИССЛЕДОВАНИЯ ПЛАЗМЫ И ОБРАЩЁННЫХ К ПЛАЗМЕ МАТЕРИАЛОВ С ПОМОЩЬЮ ОПТИЧЕСКИХ IN SITU ДИАГНОСТИК» полностью удовлетворяет требованиям пунктов 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а автор диссертации Александр Александрович Касатов заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9 – Физика плазмы.

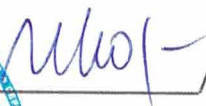
Официальный оппонент Водопьянов Александр Валентинович, заведующий отделом физики плазмы Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук», доктор физико-математических наук (01.04.08 «Физика плазмы»), доцент по специальности «Физика плазмы», адрес: Нижний Новгород, ул. Ульянова, д. 46, e-mail: avod@ipfran.ru

03 октября 2025 г.



Подпись А.В. Водопьянова удостоверяю.

Ученый секретарь ИПФ РАН К.Ф.-М.Н.



/ Корякин Игорь Валерьевич/

03 октября 2025 г.

