

Отзыв научного руководителя
на диссертационную работу Касатова Александра Александровича
«Исследования плазмы и обращённых к плазме материалов с помощью оптических
in situ диагностик»,

представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 1.3.9. Физика плазмы

Работа Александра Александровича посвящена исследованиям оптическими методами плазмы и материалов, предназначенных для покрытия компонентов, обращённых к плазме, в будущих термоядерных реакторах. Оптические методы с применением лазеров для диагностики плазмы стали развиваться в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук (ИЯФ СО РАН) с начала 60-х годов усилиями Э.П. Круглякова, впоследствии академика РАН, и его сотрудниками. Александр Александрович активно включился в эту деятельность со времени своей учёбы в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» (НГУ), выполняя с 2008 по 2015 гг. бакалаврскую, магистерскую и аспирантскую работы. За это время Александр Александрович освоил все элементы сложной диагностики электронной компоненты горячей плазмы — метода томсоновского рассеяния лазерного излучения. Этой диагностикой, считающейся лучшей, оснащаются все значительные установки, работающие в мире по направлению управляемого термоядерного синтеза в системах с магнитным удержанием плазмы. При этом на каждой установке системы томсоновского рассеяния сильно отличаются, будучи оптимизированы к особенностям установок и целям исследований, поставленных каждой командой. Александр Александрович учёл особенности и требования экспериментов на открытой ловушке ГОЛ-3, отличающейся быстрым нагревом плазмы мощным импульсным электронным пучком, создающим сильно неравновесную электронную компоненту плазмы. С его определяющим участием был разработан новый мощный лазер, способный генерировать два интенсивных импульса излучения с регулируемой задержкой и система сбора рассеянного излучения, способная регистрировать профиль электронной плотности плазмы в разных сечениях по длине открытой ловушки. Последняя возможность особенно важна для исследования открытых магнитных систем, в которых, в отличие от тороидальных систем, где параметры плазмы слабо меняются вдоль тороидального направления, очень важно знать распределение параметров плазмы вдоль её оси. Многоканальная система регистрации рассеянного излучения, методики калибровки и автоматической цифровой обработки, разработанные Александром Александровичем, позволяли получать результат измерения электронной компоненты плазмы непосредственно после каждого выстрела. С помощью данной методики Александру Александровичу удалось подтвердить немаксвелловский характер электронной функции распределения и её динамику в экспериментах с микросекундным импульсным электронным пучком. Ранее эти особенности были обнаружены лишь при нагреве плазмы почти на два порядка более короткими электронными пучками на других установках. Участвуя в различных экспериментах на установке ГОЛ-3 Александр Александрович смог измерить поперечные профили плотности плазмы в разных сечениях по длине установки и при различных длительностях нагревающего электронного пучка вплоть до сотни микросекунд. При этом он

обнаружил быструю динамику поперечных профилей плотности плазмы, используя два импульса излучения диагностического лазера в течении одного рабочего импульса установки.

Свой опыт в развитии и применении лазерного рассеяния на электронах плазмы Александр Александрович творчески применил для исследования микрочастиц, образующихся при воздействии плазмы на материал стенки. Проблема микрочастиц примесей стала особенно актуальной для специалистов в высокотемпературной плазме в последние годы из-за опасности попадания микрочастиц в область горячей плазмы в международном токамаке-реакторе ИТЭР, сооружение которого активно ведётся во Франции. Александр Александрович использовал рассеяние излучения непрерывного лазера на микрочастицах и угловую зависимость интенсивности рассеяния от размера микрочастиц, для наблюдения динамики вылета частиц различных размеров в зависимости от интенсивности теплового воздействия на материал стенки. В результате анализа данных им было показано, что скорости значительной части микрочастиц более, чем на порядок величины превосходят скорости, ранее измеренные при облучении поверхности вольфрама потоками плазмы, генерируемыми плазменными ускорителями. Такие быстрые микрочастицы имеют большую вероятность попасть в область горячей плазмы и вызвать усиленное излучение, вызывающее охлаждение плазмы и неустойчивость её удержания. Используя 3х-кадровую быструю фотосъёмку и трассировку треков микрочастиц Александр Александрович смог определить места вылета микрочастиц с поверхности и определить наиболее вероятный механизм их генерации, который оказался связан с подповерхностным вскипанием перегретого слоя расплава. С помощью созданного им диагностического комплекса Александр Александрович определил, что спектр абляционного факела вольфрамового образца, зарегистрированного с пространственным разрешением, не содержит примесных линий и демонстрирует уширение линий вблизи поверхности, что говорит о сильной пространственной неоднородности абляционного факела. Количественное определение этой неоднородности затрудняет отсутствие в литературе надёжных данных о динамической поляризуемости вольфрама. Большое значение для исследования процессов пластической деформации и образования опасных остаточных напряжений в вольфраме в результате импульсных тепловых нагрузок имеет разработка и эксплуатация Александром Александровичем пирометрической системы, способной измерять температуры поверхностей существенно меньшие 1000K. Эта система, работающая в коротковолновой инфракрасной (SWIR) области спектра и впервые в мире применённая в исследованиях по взаимодействию плазмы с поверхностью, имела нижний порог по измеряемой температуре 700-800K, что на 500-600K ниже порога быстрых пирометров на основе кремния. Кроме того, она имеет необходимое высокое пространственное и временное разрешение и может работать в условиях высокого уровня электромагнитных помех.

Сам Александр Александрович в ходе выполнения диссертационной работы показал себя самостоятельным, инициативным, тщательным исследователем, способным к эффективной работе в коллективе и владеющим возможностью донести результаты своей работы коллегам письменно и устно. Кроме того, Александр Александрович активно делится своими знаниями и опытом с более молодыми коллегами и уделяет много времени преподаванию в Новосибирском государственном университете и физико-математической школе. Он ведет семинары и лекции по механике и теории относительности, компьютерному моделированию физических явлений, экспериментальным методам исследования плазмы.

Считаю, что диссертационная работа Касатова Александра Александровича является

цельным научным исследованием, соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 1.3.9. Физика плазмы, а Касатов Александра Александрович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук.

Научный руководитель

главный научный сотрудник лаб. 9-0 ИЯФ СО РАН,

доктор физико-математических наук, доцент

Вячеславов Леонид Николаевич

Адрес: 630090, Россия, г. Новосибирск, пр-т Академика Лаврентьева, д.11

Телефон: 8 (383) 329-47-87, e-mail: L.N.Vyacheslavov@inp.nsk.su

Ученый секретарь ИЯФ СО РАН

кандидат физико-математических наук

/Резниченко Алексей Викторович/



02 июня 2025