

**Отзыв научного руководителя на диссертацию Ильи Сергеевича Абрамова
«Формирование неоднородных потоков неравновесной плазмы многозарядных ионов
в условиях микроволнового разряда», представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы**

Илья Сергеевич Абрамов приступил к исследованиям по тематике диссертационной работы восемь лет назад во время обучения на факультете «Высшая школа общей и прикладной физики» Нижегородского государственного университета. Первые научные результаты И. С. Абрамова были отражены в его дипломных работах на степень бакалавра и магистра физики. После окончания магистратуры в 2017 году (диплом с отличием) он поступил в аспирантуру ИПФ РАН, при обучении в которой были получены основные результаты, отраженные в диссертации. Будучи аспирантом, И. С. Абрамов совмещал должность младшего научного сотрудника сектора СВЧ методов нагрева плазмы отдела нелинейной электродинамики ИПФ РАН.

В своей диссертационной работе И. С. Абрамов совмещает фундаментальные исследования кинетических процессов в плазме многозарядных ионов с решением ряда прикладных задач, связанных, в первую очередь, с развитием физических основ для создания источника экстремального ультрафиолетового излучения нового типа. В первой главе диссертации предложена достаточно универсальная теория для описания потока неравновесной плазмы с переменным ионным составом в условиях многократной ионизации электронным ударом, в частности, найден новый аналитический метод, позволяющий свести задачу с многокомпонентной плазмой к некоторой эффективной одножидкостной одномерной гидродинамической задаче; это позволило подробно исследовать течения, содержащие переход через ионно-звуковой барьер в плазме с переменным ионным составом и провести общую классификацию возможных режимов стационарного течения такой плазмы. Развита система описания УФ (с учетом особенностей ЭУФ диапазона) излучения оптически плотной плазмой в условиях мультиплетного расщепления спектральных терм многозарядных ионов. Во второй главе диссертации установлены предельные параметры неравновесной многозарядной плазмы как источника ЭУФ излучения на основе микроволнового разряда в открытой магнитной ловушке, поддерживаемого в потоке вакуумно-дуговой плазмы олова, и на основе субтерагерцового разряда в свободно расширяющемся потоке ксенона; теоретические модели обоснованы путем сопоставления с имеющимися данными экспериментов. В двух последних главах рассмотрены классические, но, как выяснилось, не до конца изученные задачи. Исследовано течение плазмы в присутствии пондеромоторных сил в высокочастотном электромагнитном поле, используемом для поддержания разряда; показано, что в нелинейном режиме поглощение может усиливаться. В новой постановке решена задача об установлении самосогласованного профиля амбиполярного потенциала плазмы и направленной скорости ионов в области расширения потока плазмы за пробкой открытой магнитной ловушки.

И. С. Абрамов внес вклад в каждый из этапов работы, включая совместную с научным руководителем и соавторами постановку задач, поиск и изучение ранее опубликованных работ по теме, аналитические исследования и численное моделирование, общение с представителями других научных групп с целью получения необходимых

данных, верификацию результатов моделирования на доступных экспериментальных данных, использование разработанной теории для поиска оптимальных параметров плазмы для приложений, представление результатов в публикациях и докладах. Достоверность полученных результатов обеспечивается использованием хорошо обоснованных математических методов, а так же сравнением результатов численного моделирования с экспериментальными данными. Основные результаты диссертационного исследования были изложены в 9 статьях в реферируемых журналах и 9 статьях в сборниках трудов международных конференций, представлены автором лично на 15 международных конференциях, включены в отчеты по НИР, выполняемых в рамках госзадания ИПФ РАН и по грантам РФФИ, РФФИ, Совета по грантам Президента РФ и др. В дальнейшем результаты диссертации могут найти применение в исследованиях, ведущихся в ИОФ РАН, ФТИ РАН им. А. Ф. Иоффе, ИЯФ СО РАН им. Г. И. Будкера, НИЦ «Курчатовский институт» и других научных и образовательных учреждениях Российской Федерации и зарубежных лабораториях.

И. С. Абрамов является высококвалифицированным и перспективным молодым специалистом в области физики плазмы. Считаю, что диссертация «Формирование неоднородных потоков неравновесной плазмы многозарядных ионов в условиях микроволнового разряда» удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, И. С. Абрамов, безусловно, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы.

Доктор физико-математических наук, доцент,
заведующий сектором № 172 СВЧ методов нагрева плазмы отдела нелинейной электродинамики Отделения физики плазмы и электроники больших мощностей, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» (ИПФ РАН)

Шалашов Александр Геннадиевич
27.09.2021

603950, Нижний Новгород, бокс-120, ул. Ульянова, 46, ИПФ РАН

Подпись А. Г. Шалашова, д. ф.-м. н., доц., зав. сектором ИПФ РАН, удостоверяю.

Ученый секретарь ИПФ РАН
к.ф.-м.н.



И. В. Корюкин