

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.238.01, СОЗДАННОГО
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
НАУЧНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ЦЕНТР ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
НАУК», ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 13.12.2021 № 147

О присуждении Абрамову Илье Сергеевичу, гражданину РФ,

учёной степени кандидата физико-математических наук

Диссертация «Формирование неоднородных потоков неравновесной плазмы многозарядных ионов в условиях микроволнового разряда» по специальности 1.3.9 – Физика плазмы принята к защите 11.10.2021 г., протокол № 137, диссертационным советом 24.1.238.01 созданным на базе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» (ИПФ РАН), 603950, Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46, приказ 771/нк от 09.11.2012 г.

Соискатель, Абрамов Илья Сергеевич, 1994 года рождения, в 2017 году окончил ФГАОУ ВО "Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского", в 2021 году окончил аспирантуру ИПФ РАН, работает младшим научным сотрудником в ИПФ РАН.

Диссертация выполнена в отделе нелинейной электродинамики ИПФ РАН.

Научный руководитель: доктор физ.-мат. наук, доцент Шалашов Александр Геннадиевич, заведующий сектором ИПФ РАН.

Официальные оппоненты, Попов Алексей Юрьевич, доктор физ.-мат. наук, заведующий лабораторией ФГБУН Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, и Солдаткина Елена Ивановна, кандидат физ.-мат. наук, старший

научный сотрудник ФГБУН Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения РАН, дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация, ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Институт общей физики им. А.М. Прохорова» РАН (ИОФ РАН, г. Москва), в своём положительном заключении, подписанном главным научным сотрудником отдела физики плазмы ИОФ РАН, доктором физ.-мат.наук Батановым Германом Михайловичем, и утверждённом директором ИОФ РАН, чл.-корр. РАН Гарновым Сергеем Владимировичем, указала, что диссертация И.С. Абрамова удовлетворяет критериям п. 9 действующего «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы.

Соискатель имеет по теме диссертации 27 опубликованных работ, в том числе: 8 статей в рецензируемых научных журналах. Наиболее значимыми работами являются:

1. Шалашов А.Г., Абрамов И.С., Голубев С.В., Господчиков Е.Д. Теория стационарного СВЧ разряда с многозарядными ионами в расширяющейся струе газа. ЖЭТФ. 2016. 150(2). С. 254-267.
2. Abramov I.S., Gospodchikov E.D., Shalashov A.G. Extreme-ultraviolet light source for lithography based on an expanding jet of dense xenon plasma supported by microwaves. Phys. Rev. Applied. 2018. 10. P. 034065(11).
3. Shalashov A.G., Vodopyanov A.V., Abramov I.S., Sidorov A.V., Gospodchikov E.D., Razin S.V., Chkhalo N.I., Salashchenko N.N., Glyavin M.Yu., and Golubev S.V. Observation of extreme ultraviolet light emission from an expanding plasma jet with multiply charged argon or xenon ions. Appl. Phys. Lett. 2018. 113. P. 153502(5).
4. Abramov I.S., Gospodchikov E.D., Shaposhnikov R.A. and Shalashov A.G. Effect of ion acceleration on a plasma potential profile formed in the expander of a mirror trap. Nucl. Fusion. 2019. 59. P. 106004(9).

На диссертацию и автореферат поступило 5 отзывов. Все отзывы положительные, в них отмечаются актуальность диссертации, научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

Положительный отзыв ведущей организации содержит, наряду с редакционным, замечания: 1) о целесообразности более подробного обсуждения связи результатов численных расчетов с отдельными физическими процессами; 2) о необходимости пояснения к используемой нормировке поглощённой в потоке плазмы энергии; 3) об отсутствии подробной схемы пространственной картины взаимодействия микроволн с потоком плазмы в ловушке; 4) о желательности анализа влияния на дипольный резонанс отсутствия резкой радиальной границы в реальных плазменных струях и роли верхнегибридного резонанса.

Положительный отзыв официального оппонента д.ф.-м.н. А.Ю. Попова содержит, кроме редакционных, следующие замечания: о необходимости дополнительных пояснений при а) пренебрежении рекомбинацией в механизмах потерь многозарядных ионов, б) пренебрежении поперечными силами в уравнении баланса импульса (1.6); в) использовании равновесной функции распределения электронов по скоростям в разрядах исследуемого типа; об отсутствии анализа диаграммы направленности источника ЭУФ излучения; о возможности явного учета поглощения, связанного с генерацией плазменных волн; о возможности вычисления пондеромоторной силы в гидродинамическом приближении; о существовании переходных слоев в области расширения неравновесной плазмы за пробкой открытой магнитной ловушки.

Положительный отзыв официального оппонента к.ф.-м.н. Е.И. Солдаткиной содержит, наряду с редакционными, замечания: об отсутствии обзора работ по системам, составляющим конкуренцию источникам ЭУФ излучения на основе микроволнового разряда и по расширению потока плазмы за пробкой магнитной ловушки; об отсутствии прямого сравнения различных конфигураций источников ЭУФ излучения на основе микроволнового разряда; об отсутствии оценок развития гидродинамических неустойчивостей в неоднородном потоке неравновесной плазмы.

Положительные отзывы на автореферат д.ф.-м.н. П.А. Багрянского (ИЯФ СО РАН, г. Новосибирск) и к.ф.-м.н. (PhD) Д. Мосеева (Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, г. Грайфсвальд, Германия) замечаний не содержат.

Выбор официальных оппонентов обоснован тем, что они являются признанными специалистами в области физики плазмы и высокочастотного разряда, а ведущая организация является одним из лидеров в исследованиях по физике плазмы.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- построена теория стационарного потока неравновесной плазмы многозарядных ионов и разработана эффективная техника решения уравнений этой теории;
- предложена модификация уравнения радиационного переноса возбуждения ионов для описания линейчатого излучения оптически плотного образования неравновесной плазмы многозарядных ионов в условиях мультиплетного расщепления спектральных терм;
- выполнены оценки эффективности источников ЭУФ излучения на основе микроволновых разрядов;
- установлены возможные режимы течения неравновесной плазмы, каналируемой внешним магнитным полем, в присутствии внутреннего наведенного высокочастотного поля, усиленного на дипольном резонансе;
- разработана самосогласованная модель расширения потока неравновесной плазмы за пробкой открытой магнитной ловушки; с ее помощью установлена зависимость скачка потенциала в двойном слое у торцевой стенки расширителя открытой магнитной ловушки от параметров удерживаемой в ловушке плазмы.

Теоретическая значимость исследования состоит в том, что предложенная в диссертации теория описывает новые физические эффекты, такие как смещение точки перехода скорости потока неравновесной плазмы через скорость звука в условиях многократной ионизации, увеличение эффективности поглощения потоком неравновесной плазмы энергии высокочастотного электромагнитного поля за счет влияния этого поля на плотность потока.

Практическая значимость работы состоит в том, что предложенная в диссертации теория применима для оптимизации экспериментов по развитию

источников многозарядных ионов и ЭУФ излучения на основе микроволновых разрядов, а также экспериментов на больших открытых магнитных ловушках, предназначенных для удержания горячей плазмы для УТС.

Достоверность результатов исследования обеспечена использованием апробированных численных и экспериментальных методов исследований плазмы. Результаты исследований опубликованы в ведущих российских и зарубежных журналах, неоднократно представлялись на международных конференциях.

Личный вклад соискателя состоит в разработке теоретического описания потоков неравновесной плазмы многозарядных ионов в условиях микроволнового разряда и обобщении разработанной теории для описания расширения неравновесной плазмы за пробкой газодинамической магнитной ловушки; в моделировании возможных режимов течения исследуемой неравновесной плазмы в широком диапазоне параметров; установлении предельных параметров плазмы в разрядах, используемых в качестве источников ЭУФ излучения, сопоставлении результатов моделирования с доступными экспериментальными данными.

На все вопросы и замечания, высказанные в ходе защиты и содержащиеся в отзывах, И. С. Абрамовым были даны ответы и комментарии.

На заседании от 13.12.2021 г. диссертационный совет принял решение: за решение научной задачи, имеющей значение для развития физики плазмы, присудить Абрамову И.С. учёную степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 21 человека, из них 4 доктора наук по специальности 1.3.9, участвовавших в заседании, из 31 человека, входящего в состав совета, проголосовали: за – 21, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель диссертационного совета,

академик РАН

Ученый секретарь диссертационного совета,

доктор физ.-мат. наук

13 декабря 2021 г.



Литвак Александр Григорьевич

Абубакиров Эдуард Булатович