

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

**СТЕНОГРАФИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ**

заседание диссертационного совета Д 002.110.02  
при Федеральном государственном бюджетном учреждении наук  
Объединенном институте высоких температур Российской академии наук  
от 28 сентября 2016 г. (протокол № 10)

Повестка дня:

Защита диссертации на соискание ученой степени доктора физико-математических наук

**Медведева Юрия Васильевича**

на тему

**«Нелинейные явления при распадах разрывов плотности в бесстолкновительной  
плазме»**

Специальность 01.04.08 – Физика плазмы

Москва – 2016

## СТЕНОГРАММА

заседания диссертационного совета Д 002.110.02  
при Федеральном государственном бюджетном учреждении наук  
Объединенном институте высоких температур Российской академии наук  
Протокол № 10 от 28 сентября 2016 г.

**Председатель** – Зам. председателя диссертационного совета Д 002.110.02  
чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор Канель Г.И.

**Секретарь** – Ученый секретарь диссертационного совета Д 002.110.02  
к.ф.-м.н., с.н.с. Васильев М.М.

### **Председатель:**

Уважаемые члены Совета, кворум имеется. Совет утверждён в составе **31** человека.  
На заседании присутствуют **21** члена совета, из них докторов наук по профилю рассматриваемой диссертации – **9**.

1. Канель Г.И.	чл.-корр. РАН, профессор	01.04.14	присутствует
2. Васильев М.М.	к.ф.-м.н., с.н.с.	01.04.08	присутствует
3. Агранат М.Б.	д.ф.-м.н., с.н.с.	01.04.14	присутствует
4. Амиров Р.Х.	д.ф.-м.н., с.н.с.	01.04.08	присутствует
5. Баженова Т.В.	д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	присутствует
6. Вараксин А. Ю.	чл.-корр. РАН, профессор	01.04.14	присутствует
7. Васильев М. И.	д.т.н., профессор	01.04.14	присутствует
8. Василяк Л. М.	д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	присутствует
9. Воробьев В. С.	д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	присутствует
10. Голуб В. В.	д.ф.-м.н., профессор	01.04.14	присутствует
11. Зейгарник Ю. А.	д.т.н., с.н.с.	01.04.14	присутствует
12. Еремин А. В.	д.ф.-м.н.	01.04.14	присутствует
13. Иванов М. Ф.	д.ф.-м.н., профессор	01.04.14	присутствует
14. Кириллин А. В.	д.ф.-м.н., профессор	01.04.14	присутствует
15. Лагарьков А. Н.	академик РАН	01.04.08	присутствует
16. Медин С. А.	д.т.н., профессор	01.04.14	присутствует
17. Петров О.Ф.	чл.-корр. РАН, профессор	01.04.08	присутствует
18. Савватимский А. И.	д.т.н.	01.04.14	присутствует
19. Сон Э. Е.	чл.-корр. РАН, профессор	01.04.08	присутствует
20. Храпак А.Г.	д.ф.-м.н., профессор	01.04.14	присутствует
21. Якубов И.Т.	д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	присутствует



На повестке дня защита диссертации старшего научного сотрудника Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН) Медведева Юрия Васильевича на тему «Нелинейные явления при распадах разрывов плотности в бесстолкновительной плазме». Диссертация впервые представлена на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.08 – Физика плазмы. Диссертация выполнена в Теоретическом отделе №1.2.4. им. Л.М. Бибермана, Отделения №1.2. – Низкотемпературной плазмы, Научно-исследовательского центра теплофизики экстремальных состояний (НИЦ-1 ТЭС) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (125412, г. Москва, ул. Ижорская, 13, стр.2, <http://jiht.ru>).

**Официальные оппоненты:**

**1. Ерохин Николай Сергеевич** – гражданин РФ, доктор физико-математических наук, профессор, зав. отделом космогеофизики № 51 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института космических исследований Российской академии наук, г. Москва.

**2. Крайнов Владимир Павлович** - гражданин РФ, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры теоретической физики Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московского физико-технического института (государственного университета)", г. Долгопрудный Московской обл.

**3.. Сасоров Павел Васильевич** – гражданин РФ, доктор физико-математических наук, г.н.с. отдела «Математические модели и численные методы высокотемпературной гидродинамики» № 13 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук, г. Москва.

**Ведущая организация:**

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт им. П. Н. Лебедева Российской академии наук (119991, ГСП-1, Москва, Ленинский проспект, д. 53).**

На заседании присутствуют: официальные оппоненты: д.ф.-м.н., профессор Ерохин Николай Сергеевич, д.ф.-м.н., профессор Крайнов Владимир Павлович, д.ф.-м.н. Сасоров Павел Васильевич.

Есть возражения по повестке дня? Нет. Повестка дня утверждается единогласно. Слово предоставляется ученому секретарю Васильеву М. М.

**Ученый секретарь:**

*Зачитывает данные о соискателе по материалам личного дела и сообщает о соответствии представленных документов требованиям ВАК Минобрнауки РФ.*



**Председатель:**

Есть ли вопросы по документам? Нет. Слово предоставляется Медведеву Юрию Васильевичу для изложения основных положений диссертационной работы.

**Медведев Ю. В.:**

*Докладывает диссертационную работу (выступление не стенографируется, доклад Медведева Ю. В. прилагается).*

**Председатель:**

Спасибо, Юрий Васильевич. Пожалуйста, вопросы к докладчику.

**Якубов И. Т.:**

Где такая плазма с отрицательными ионами реализуется?

**Медведев Ю. В.:**

В последнее время она активно исследуется. Используется в технологии, для обработки материалов. Например, были сообщения о работе с плазмой, состоящей из положительно заряженных и отрицательно заряженных ионов фуллерена.

**Якубов И. Т.:**

Тогда там можно что-то изучить, какие-то величины измерить?

**Медведев Ю. В.:**

Да. Была, например, экспериментальная работа из Японии, где изучались условия возникновения ударных волн в плазме с отрицательными ионами. Они определили условия, при которых Мах волны равнялся единице. В наших расчетах мы получили хорошее совпадение с этими измерениями.

**Якубов И. Т.:**

Какие там плотности?

**Медведев Ю. В.:**

Плотность там низкая, порядка десять в десятой.

**Василяк Л.М.:**

У вас разделение на монотонные и немонотонные распределения. Я возьму производную от монотонной величины и получу немонотонную. Эти задачи не сводятся одна к другой?

**Медведев Ю. В.:**

Нет. Я сказал, что это чисто условное разделение, чтобы как-то разделить при изложении явления при квазинейтральных или автомодельных течениях от явлений во второй части, где течения, по большей части, стационарные.

**Василяк Л.М.:**

При расширении плазмы с отрицательными ионами в вакуум возникает неустойчивость. При расширении плазмы в плазму низкой плотности, казалось бы, тоже должна быть неустойчивость типа пучковой или бунемановской.

**Медведев Ю. В.:**



В этом случае при малых температурах ионов возникает бесстолкновительная ударная волна. А при большой температуре ионов течение становится ближе к автомодельному. Неустойчивости здесь нет.

**Иванов М. Ф.:**

У вас довольно сложные нелинейные расчеты. Как вы тестировали программы?

**Медведев Ю. В.:**

Все программы были тщательно протестированы и не только для решения этих задач. Прежде всего, сравнивались с известными аналитическими решениями. Отличий практически нет. При разработке программ для изучения расширения плазмы в вакуум для тестирования использовались численные и аналитические результаты Гуревича А. В., Парийской Л. В. и Питаевского Л. П., для задачи о распаде разрыва решения сравнивались с гидродинамическими расчетами Гуревича А. В. и Мещеркина А. П. Как правило, задачи решались в разных приближениях разными моделями, и полученные решения сравнивались друг с другом, что тоже позволяло избежать ошибок.

**Медин С. А.:**

Вы показывали систему уравнений. Прокомментируйте, пожалуйста, ваши уравнения, какие там используются переменные.

**Медведев Ю. В.:**

Это уравнения трех моментов. От уравнения для функции распределения берутся моменты. На третьем моменте цепочка уравнений обрывается.

**Медин С. А.:**

Это же обычная гидродинамика.

**Медведев Ю. В.:**

Уравнения имеют гидродинамический вид, в таком виде уравнения для моментов были предложены Гуревичем и Питаевским для бесстолкновительной плазмы.

**Медин С. А.:**

Это уравнения гидродинамики.

**Иванов М. Ф.:**

Нет, нет. Здесь функция распределения неравновесна. В гидродинамике есть локальное термодинамическое равновесие. А у него нет равновесия. Это именно уравнения для моментов.

**Якубов И. Т.:**

А где здесь третий момент?

**Медведев Ю. В.:**

Это ионная температура. Получено при условии, что можно пренебречь пространственным изменением теплового потока.

**Голуб В. В.:**

Что можно сказать о скорости разлета ионов?

**Медведев Ю. В.:**



Вот график для скорости ионов для двух вариантов ионной температуры. В первом случае она нулевая, во втором – равна электронной температуре. Видно, что данные численного эксперимента совпадают с формулами волны разрежения.

**Голуб В. В.:**

Так она же должна выходить на какую-то экспоненту, наверное.

**Медведев Ю. В.:**

Нет. Это ускорение в волне разрежения, где электрическое поле постоянно в пространстве и падает обратно пропорционально времени. Это постоянное поле все время ускоряет ионы.

**Храпак А. Г.:**

У обычных солитонов есть такое свойство, что комбинация амплитуды и ширины солитона сохраняется для решения уравнения Кортевега-де Вриза. В вашем случае вы не обнаружили что-то подобное?

**Медведев Ю. В.:**

Действительно, решение уравнения Кортевега-де Вриза удобно тем, что оно дает аналитическое описание солитона. Для него действительно существует соотношение: ширина в квадрате, умноженная на амплитуду – это константа. На самом деле, точный расчет показывает, что эта величина падает, причем достаточно быстро даже при малых амплитудах солитона.

**Иванов М. Ф.:**

А вот те квазисолитоны, которые вы показали, как они соотносятся с ленгмюровскими солитонами Захарова?

**Медведев Ю. В.:**

Нет, это другие образования. Это отмечено в диссертации. Кавитоны не имеют отношения к ленгмюровской турбулентности.

**Петров О. Ф.:**

У меня вопрос к автореферату. Вот научное положение, выносимое на защиту: «Для описания квазинейтральных течений плазмы с произвольной температурой ионов можно использовать полученные в работе аналитическое решение ...» и т. д. Здесь формулируется некое действие. Где результат? Описан некий процесс, а не результат решения задач.

**Медведев Ю. В.:**

Я это писал с целью показать, где можно использовать полученные результаты. Это мое упущение. Надо было дать более точную формулировку этих положений.

**Председатель:**

Больше вопросов нет? Спасибо. Юрий Васильевич, пожалуйста, садитесь.

Слово предоставляется ученому секретарю Васильеву М. М. для ознакомления членов диссертационного совета с отзывом ведущей организации и отзывами, поступившими на автореферат диссертации.

**Ученый секретарь:**



В деле имеется заключение семинара Теоретического отдела им. Л. М. Бибермана (№ 1.2.4) ОИВТ РАН. Оценка работы положительная.

Имеется положительный отзыв от ведущей организации – **Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физический институт им. П. Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН, Москва)**, подписанный главным научным сотрудником, д.ф.-м.н., проф. В. Ю. Бычковым (*зачитывает отзыв ведущей организации*).

В отзыве имеются следующие замечания:

1. Очевидно, что ценность теоретической работы тем выше, чем своевременней она используется для интерпретации экспериментов и чем большее число актуальных экспериментов, которые позволяет планировать и объяснять теория. К сожалению, основной экспериментальный материал, использованный автором для сравнения со своими моделями, получен десятки лет назад. Было бы желательно видеть сопоставление с более свежими экспериментальными работами. Такая возможность упущена, например, для такого направления исследований, как разлет и течение плазмы под действием лазерно-нагретых электронов в условиях взаимодействия интенсивных коротких лазерных импульсов со слоистыми мишенями.

2. В диссертации очень эффективно используется прием взаимного сопоставления и дополнения численной кинетической модели бесстолкновительных течений плазмы и аналитической модели бесстолкновительной гидродинамики. Поскольку последняя обладает существенно меньшей полнотой, следовало бы для каждой решенной в работе задачи четко формулировать количественные условия применимости гидродинамического приближения по параметрам плазмы, что почти не прослеживается в диссертации.

3. При прочтении описания разлета плазмы конечной толщины в вакуум создается впечатление, что развитая теория говорит о волнах разрежения, идущих с границ плазмы внутрь, которые проходят друг через друга после их встрече в центре мишени. Физического доказательства этого в диссертации не просматривается. Не является ли более правильным с физической точки зрения считать, что, наоборот, происходит их отражение в центре. Ответ на этот вопрос могло бы дать изучение прохождения или непрохождения частиц (из одной половины слоя в другую), формирующих сближающиеся возмущения плотности заряда, как результат нарушения квазинейтральности плазмы.

4. Для упрощения расчетов автор зачастую использует модельное (завышенное) значение отношения массы электрона к массе иона. Поскольку обсуждаются нелинейные эффекты, то неочевидным представляется пересчет пространственно-временных характеристик на реальное отношение масс для ряда решенных в диссертации задач. Следовало



бы установить хотя бы оценочные рамки такого пересчета для приближенного количественного описания обсуждаемых эффектов для реальной электрон-ионной плазмы.

5. В задаче об адиабатическом остывании электронов при разлете плазмы в вакуум, не дается зависимость темпа охлаждения электронов от параметров плазменного образования, а формула, показывающая линейное уменьшение энергии электронной компоненты со временем, очевидно, имеет ограничение по времени, которое должно обсуждаться. Свои результаты автор не сравнивает с полученными в работах других авторов, например, [82]-[87].

На автореферат диссертации поступило пять отзывов из следующих организаций:

**1. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт им. П. Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН) (г.н.с., д.ф.-м.н., проф., и. о. зав. сектором теории лазерной плазмы Отделения квантовой радиофизики ФИАН С. Ю. Гуськов) – отзыв положительный, с замечанием:**

- В работе описан ряд очень интересных нелинейных явлений и, на мой взгляд, было бы полезно описать конкретные условия их экспериментального наблюдения или применения.

**2. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» (НИУ «МЭИ») (д.ф.-м.н., проф., профессор НИУ «МЭИ» О. А. Синкевич) - отзыв положительный, с замечаниями:**

- Из результатов, приведенных в автореферате, трудно понять на сколько в диссертации обосновано использование приближения «горячая двух температурная бесстолкновительная плазма» и области существования такой плазмы.

- Следовало бы оценить роль переноса излучения в рассматриваемой горячей двух температурной бесстолкновительной плазме.

- На мой взгляд, более детального анализа заслуживает обсуждение влияние собственного и внешнего магнитных полей на исследуемые процессы. Хотелось бы понять, насколько применимы полученные в диссертации результаты подходят, например, к описанию процессов в магнитосфере Земли.

**3. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теоретической физики им. Л. Д. Ландау Российской академии наук (ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН) (д.ф.-м.н. Н. А. Иногамов, в.н.с. ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН) - отзыв положительный, с замечанием:**



- В работе рассмотрен важный вопрос об охлаждении электронов и обмене энергией между электронами и ионами при расширении плазмы в вакуум. Такой вопрос очень важен для проводящихся во многих лабораториях мира исследований о генерации потоков ионов большой энергии. В диссертации задача рассмотрена для полубесконечной плазмы. Значительный интерес представляли бы такие исследования для плазмы конечной протяженности, например, для плоского слоя плазмы. Тогда можно было бы изучить обмен энергией между электронами и ионами и при возникающем взаимодействии движущихся навстречу друг другу волн охлаждения электронов.

**4. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша Российской академии наук (ИПМ им. М. В. Келдыша РАН) (д.ф.-м.н., в.н.с. ИПМ им. М. В. Келдыша РАН В. Ф. Ковалев) - отзыв положительный, с замечанием:**

- Замечание заключается в избыточной, на мой взгляд, детализации при изложении основных результатов работы. Такая степень подробности более уместна для раздела, в котором излагается содержание работы.

**5. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теоретической физики им. Л. Д. Ландау Российской академии наук (ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН) (д.ф.-м.н. Ю. В. Петров, с.н.с. ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН) - отзыв положительный, без замечаний.**

Все поступившие отзывы положительные.

**Председатель:**

Слово предоставляется Медведеву Юрию Васильевичу для ответа на замечания, содержащиеся в отзыве ведущей организации и в отзывах на автореферат.

**Медведев Ю. В.:**

Что касается сравнения с экспериментом, то надо иметь в виду, что в диссертации решаются задачи в классической постановке: разрыв плотности, слева и справа от которого расположены однородно распределенные плазмы с максвелловскими распределениями частиц. Целью было не повторять известные теоретические и экспериментальные результаты, а получить ответ на перешенные проблемы, например, о характере движения в области пространственного заряда, об обмене энергией между электронами и ионами и другие вопросы. В диссертации я провел сравнение расчета с данными двух экспериментов, для которых такого сравнения ранее не было. На рисунке видно, что движение автомодельно и хорошо описывается результатами численного эксперимента.

**Председатель:**

Юрий Васильевич, другой подтекст был в замечании, что вы обращались к старым работам.



**Медведев Ю. В.:**

Хорошо. По поводу сравнения с экспериментами с лазерной плазмой. Оказалось, что в такой плазме имеется значительное количество быстрых электронов, которые в существенной степени и определяют течение процесса. Это обсуждалось во многих работах. Сравнение с такими новыми экспериментами результатов расчетов в классической постановке было бы некорректным.

Сравнение расчета и эксперимента может быть проведено и со стороны экспериментаторов. Так, Тужевским из Лос-Аламоса было отмечено, что наблюдаемая в плазме с отрицательными ионами неустойчивость хорошо соответствует тому, что было найдено ранее в моих работах.

Об оценке точности аналитических решений. Как отмечено в отзыве, нередко решения строятся с помощью взаимного дополнения численных и аналитических результатов. При этом выделить роль отдельных составляющих общего решения вряд ли возможно. Условия применимости сформулированы в первой главе. Целый параграф диссертации посвящен тому, чтобы найти, где справедливо решение в виде волны разрежения. На большинстве графиков сравниваются аналитические и численные решения, и всегда можно понять, где имеется расхождение. Конечно, более частое упоминание об этом было бы полезно.

О прохождении или отражении волн разрежения. В волне разрежения фронт движется в одну сторону, а ионы ускоряются – в другую. Это свойство волны разрежения сохраняется, если интерпретировать взаимодействие волн разрежения как прохождение друг через друга. Но если считать, что в центре слоя происходит отражение волн разрежения, то в отраженной волне фронт и ускоренные ионы будут двигаться в одном направлении, то есть не так, как в обычной волне разрежения. Полученное решение в области взаимодействия волн разрежения не зависит от той или иной интерпретации.

О модельном отношении масс. В диссертации при рассмотрении расширения ионной плазмы в вакуум было показано, что при малых отношениях масс процесс будет близок к тому, что имеет место в случае нейтральных частиц. Поэтому при рассмотрении электрон-ионной плазмы отношение модельной массы ионов к модельной массе электрона должно быть большим. Оно может быть меньше реального отношения масс, главное, чтобы не искажалась физическая картина процесса. В рассматриваемых задачах масштабы скорости и времени определяются ионным движением. Моделирование движения электронов требуется тогда, когда такое движение существенно определяет процесс, например, обмен энергией между электронами и ионами. Для остальных задач электронное движение моделировалось для подтверждения справедливости ионных решений. Представленные на рисунках примеры показывают хорошее совпадение решений для разных моделей. Выбор отношения масс зависит от конкретной задачи.

Об охлаждении электронов. Было установлено, что при расширении плазмы в вакуум температура электронов падает в области, где в это время плотность и потоковая скорость электронов сохраняют постоянные значения. И только в области волны разрежения



эти величины начинают изменяться. Обнаружено такое явление, но это для полубесконечной области. Надо задачу решить для плазмы конечного размера, тогда будет взаимодействие волн охлаждения электронов, движущихся с двух сторон, и другая зависимость температуры. Указанные в замечании ссылки относятся к работам, в которых предлагаются альтернативные методы описания разлета плазмы. В этих работах начальное распределение плотности имеет гауссов вид. При этом потенциал падает как квадрат координаты, в отличие от волны разрежения с линейной зависимостью от координаты. То есть изначально это другая задача. Некорректно сравнивать.

Об отзывах на автореферат.

По поводу замечания С. Ю. Гуськова об экспериментах. Конечно, я не планировал никаких экспериментов. Если была бы возможность, я знаю, что надо измерять. Здесь все достаточно очевидно. Надо получить распределения величин.

По замечанию О. А. Синкевича. Я упоминаю двухтемпературную плазму в двух случаях. Это двухтемпературные электроны в лазерной плазме. Я их не моделирую и не рассматриваю, просто упоминаю в обзоре литературы. Еще две разные температуры имеют положительные и отрицательные ионы в плазме с отрицательными ионами. В бесстолкновительной плазме это вполне возможно.

По поводу излучения и магнитного поля. Действительно, этого нет. Я работаю в рамках модели бесстолкновительной полностью ионизованной плазмы без магнитного поля. Учет влияния магнитного поля еще требует и определенной постановки задачи. Задача существенно зависит от направления магнитного поля. Эксперимент, который я показывал, проводился в сильном магнитном поле 10 килогаусс, но поле было продольное. Я не претендую на описание явлений в магнитосфере Земли. А для Луны без магнитного поля можно что-то использовать. Например, определить, что происходит на темной стороне Луны при ее обтекании солнечным ветром. Автоматические станции измеряли параметры плазмы и обнаружили уменьшение плотности по экспоненте, возникновение электрических полей и даже были указания, что там может развиваться неустойчивость.

Замечание Н. А. Иногамова. Я согласен, что надо исследовать волну охлаждения электронов для конечной области плазмы.

Я согласен с замечанием В. Ф. Ковалсва.

**Председатель:**

Спасибо, Юрий Васильевич. Слово предоставляется официальному оппоненту Крайнову Владимиру Павловичу.

**Крайнов В. П.:**

*(Зачитывает отзыв, письменный отзыв имеется в деле).*

**Председатель:**

Есть ли у членов совета вопросы к официальному оппоненту Крайнову Владимиру Павловичу? Вопросов нет. Спасибо, Владимир Павлович.

**Председатель:**



Слово предоставляется Медведеву Юрию Васильевичу для ответа на замечания официального оппонента.

**Медведев Ю. В.:**

В диссертации представлены графики, из которых видно, как со временем солитон меняет свою форму. При этом меняется и амплитуда, а за солитоном образуются осцилляции. Имеется подобие тому, что происходит в слабой ударной волне в газе. Это случай большого влияния отраженных ионов. Здесь имеет место бесстолкновительная диссипация за счет отражения ионов. Доля отраженных ионов составляет около четырех процентов, практически максимальное значение. А вот другой случай, когда доля отраженных ионов на два порядка меньше. Здесь сохраняются форма и скорость солитона, отраженные ионы есть, но их мало.

Вопрос состоит в том, можно ли учесть эту диссипацию с помощью обобщенного уравнения Бюргерса. На зависимости доли отраженных ионов от амплитуды имеется резкое увеличение доли вблизи критического значения, а при малых амплитудах доля отраженных ионов очень мала. Уравнение Бюргерса выводится для малых амплитуд. Если попытаться ввести в уравнение Бюргерса некий эффективный коэффициент вязкости для учета бесстолкновительной диссипации, то получим члены, сильно отличающиеся по порядку величины. Кроме того, уравнение Бюргерса описывает однопотокное движение, а здесь возникает второй поток отраженных ионов. Все это затрудняет использование уравнения Бюргерса в рассматриваемом случае.

Вместе с тем, замечание Владимира Павловича очень важное. В настоящее время появилось ряд работ, где предлагается использовать отраженные ионы для получения потоков ускоренных ионов. Поэтому изучение отражения ионов и бесстолкновительной диссипации весьма актуально.

**Председатель:**

Спасибо, Юрий Васильевич. Слово предоставляется официальному оппоненту Ерохину Николаю Сергеевичу.

**Ерохин Н. С.:**

*(Зачитывает отзыв, письменный отзыв имеется в деле).*

**Председатель:**

Есть ли у членов совета вопросы к официальному оппоненту Ерохину Николаю Сергеевичу? Вопросов нет. Спасибо, Николай Сергеевич. Юрий Васильевич, вы согласны с замечаниями Николая Сергеевича?

**Медведев Ю. В.:**

Да, конечно.

**Председатель:**

Спасибо, Юрий Васильевич. Слово предоставляется официальному оппоненту Сасорову Павлу Васильевичу.

**Сасоров П. В.:**

*(Зачитывает отзыв, письменный отзыв имеется в деле).*



**Председатель:**

Есть ли у членов совета вопросы к официальному оппоненту Сасорову Павлу Васильевичу? Вопросов нет. Спасибо, Павел Васильевич. Слово предоставляется Юрию Васильевичу для ответа на замечания официального оппонента.

**Медведев Ю. В.:**

Я согласен с замечаниями Павла Васильевича. Я ограничился обсуждением только рассматриваемых задач.

**Председатель:**

Спасибо, Юрий Васильевич. Переходим к дискуссии.

**Иванов М. Ф.:**

Я буду говорить о диссертанте. Я знаком с Юрием Васильевичем с 1974 года. Мы оказались учениками С. И. Анисимова, и оба занимались плазмой. Юрий Васильевич все последующие годы посвятил глубокому изучению этих задач, получил много важных решений и написал книгу, которая, по сути дела, является энциклопедией по вопросам динамики плазмы при распадах разрывов. Безусловно, автор заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук.

**Храпак А. Г.:**

Юрий Васильевич более 20 лет работает в нашем Теоретическом отделе, и большая часть работ выполнена в нашем отделе. Он потратил много времени на написание и издание книги. Он мог бы защититься, по крайней мере, лет на пять раньше. Призываю голосовать «за».

**Председатель:**

Есть еще желающие выступить? Тогда Юрию Васильевичу предоставляется заключительное слово, пожалуйста.

**Медведев Ю.В.:**

Я хотел бы выразить благодарность своим учителям и соавторам совместных работ Сергею Ивановичу Анисимову, Александру Викторовичу Гуревичу, Льву Петровичу Пятаевскому, Роальду Зиннуровичу Сагдееву, Михаилу Федоровичу Иванову и Кириллу Петровичу Зыбину. Я многому научился, общаясь и работая с ними.

Я признателен коллегам из Теоретического отдела им. Л. М. Бибермана Объединённого института высоких температур РАН за многочисленные полезные обсуждения на семинарах, руководимых Владимиром Сергеевичем Воробьёвым.

Я благодарен официальным оппонентам Николаю Сергеевичу Ерохину, Владимиру Павловичу Крайнову и Павлу Васильевичу Сасорову, взявшим на себя труд по оппонированию диссертации. Я благодарен Валерию Юрьевичу Быченкову, составившему отзыв от ведущей организации ФИАН.

Выражаю благодарность членам Диссертационного совета за возможность представить мою работу, за вопросы и внимание. Спасибо!

**Председатель:**



Спасибо. Для проведения тайного голосования предлагается избрать счетную комиссию в составе: М. Н. Васильев (председатель комиссии), И. Т. Якубов, В. В. Голуб. Нет возражений? Нет. (*Счетная комиссия выбирается единогласно*). Теперь прошу покинуть зал всех, кроме членов диссертационного совета.

(*Проводится процедура тайного голосования*).

**Председатель:**

Слово для оглашения результатов тайного голосования предоставляется председателю счетной комиссии Васильеву М. Н.

**Васильев М. Н.:**

Состав диссертационного совета утвержден в количестве 31 членов, на заседании присутствуют 21 членов совета, из них 9 докторов наук по профилю рассматриваемой диссертации. Роздано 21 бюллетень, остались не розданными 10. В урне оказалось 21 бюллетеней.

Результаты голосования:

За присуждение ученой степени доктора физико-математических наук **Медведеву Юрию Васильевичу** проголосовало 21 членов диссертационного совета, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

**Председатель:**

Предлагается утвердить протокол счетной комиссии. Прошу голосовать. (*Протокол счетной комиссии утверждается единогласно*). Диссертационный совет должен принять заключение по диссертации Медведева Ю. В. и утвердить его. Проект заключения роздан. У кого есть замечания или дополнения?

(*Члены диссертационного совета обсуждают проект заключения*).

Предлагается принять заключение с обсужденными нами изменениями. Прошу голосовать. (*Утверждается единогласно открытым голосованием*). Заседание диссертационного совета объявляется закрытым.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.110.02  
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ  
НАУКИ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР РОССИЙСКОЙ  
АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ  
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 28.09.2016 г. протокол № 10

О присуждении Медведеву Юрию Васильевичу, гражданину Российской Федерации ученой степени доктора физико-математических наук.



Диссертация «Нелинейные явления при распадах разрывов плотности в бесстолкновительной плазме» в виде рукописи по специальности 01.04.08 – физика плазмы, принята к защите 06.04.2016г., протокол № 5, диссертационным советом Д 002.110.02 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр.2, [jiht.ru](http://jiht.ru), (495) 485-8345), утвержденного Приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 11.04.2012г. № 105/нк.

Соискатель Медведев Юрий Васильевич 1939 года рождения, в 1961 году окончил Харьковский государственный университет им. А. М. Горького.

В 1981 году защитил диссертацию «Эволюция разрывов в разреженной плазме и структура следов за искусственными спутниками Земли» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая и математическая физика в специализированном совет Д 002.94.02 при Институте космических исследований АН СССР (протокол № 17 от 13 января 1981 г.)

Диссертация выполнена в Теоретическом отделе №1.2.4. им. Л.М. Бибермана, Отделения №1.2. – Низкотемпературной плазмы, Научно-исследовательского центра теплофизики экстремальных состояний (НИЦ-1 ТЭС) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук.

Работает старшим научным сотрудником Теоретического отдела им. Л. М. Бибермана № 1.2.4, Отделения №1.2. – Низкотемпературной плазмы, Научно-исследовательского центра теплофизики экстремальных состояний (НИЦ-1 ТЭС) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук.

**Официальные оппоненты:**

д.ф.-м.н., проф. Ерохин Николай Сергеевич – зав. отделом космогеофизики № 51 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института космических исследований Российской академии наук;

д.ф.-м.н., проф. Крайнов Владимир Павлович - профессор кафедры теоретической физики Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московского физико-технического института (государственного университета)";

д.ф.-м.н. Сасоров Павел Васильевич – г.н.с. отдела «Математические модели и численные методы высокотемпературной гидродинамики» № 13 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук

дали положительные отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт им. П. Н. Лебедева Российской академии наук (г. Москва), в



своем положительном заключении составленном г.н.с., зав. сектором лазерно-плазменной физики высоких энергий, д.ф.-м.н., проф. Бычковым Валерием Юрьевичем (утвержденном директором чл.-корр. РАН Колачевским Н. Н.), указала что:

В диссертации получены решения ряда конкретных задач физики бесстолкновительной плазмы, а также выявлены и подробно изложены основные свойства и закономерности нелинейных явлений при распадах разрывов плотности. Полученные численные решения в определенных диапазонах параметров плазмы совпадают с соответствующими аналитическими решениями, как найденными ранее другими авторами, так и представленными автором данной работы. Сравнение решений, полученных в разных приближениях, широко используется в работе и подробно обсуждается. Найденные автором численные и аналитические решения сравниваются также с соответствующими экспериментальными результатами других авторов. Проанализированные экспериментальные данные хорошо соответствуют полученным решениям. Указанные факторы свидетельствуют о достоверности представленных результатов и обоснованности сделанных выводов и заключений.

С большими градиентами плотности плазмы исследователи имеют дело при изучении инерциального термоядерного синтеза, лазерной плазмы, ионных источников, газоразрядных устройств, некоторых астрофизических явлений. По таким направлениям ведутся работы в Физическом институте им. П. Н. Лебедева РАН, Институте общей физики им. А. М. Прохорова РАН, Институте теоретической физики им. Л. Д. Ландау РАН, Институте прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН, Институте космических исследований РАН, Объединенном институте высоких температур РАН, НИЦ «Курчатовский институт», ГНЦ РФ «Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований», ВНИИ автоматики им. Н. Л. Духова и в других научных институтах. Во многих случаях для анализа и описания исследуемых явлений можно использовать представленные в диссертации результаты.

Автор единолично опубликовал по теме диссертации 1 монографию, 14 статей, 1 препринт и 32 доклада.

Всего в список литературы включены работы автора: 1 монография, 25 статей в рецензируемых ведущих научных журналах, рекомендованных ВАК для публикации результатов докторских диссертаций, а также отдельные препринты и доклады. Всего автором по теме диссертации было опубликовано 7 препринтов (ИАЭ им. И. В. Курчатова, ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН). Основные результаты диссертации докладывались на Всесоюзных, Всероссийских и Международных научных конференциях (32 доклада), в которых соискатель принимал личное участие.

#### **Основные работы:**

1. Медведев Ю. В. Нелинейные явления при распадах разрывов в разреженной плазме. – М.: Физматлит, 2012. – 344 с.



2. Medvedev Yu. V. Expansion of a finite plasma into a vacuum // Plasma Phys. Control. Fusion. 2005. V. 47, № 7. P. 1031-1046.
3. Medvedev Yu. V. Ion front in an expanding collisionless plasma // Plasma Phys. Control. Fusion. 2011. V. 53, № 12. 125007 (18pp).
4. Medvedev Yu. V. Evolution of a density disturbance in a collisionless plasma // Plasma Phys. Control. Fusion. 2014. V. 56, № 2. 025005 (9pp).

**На диссертацию и автореферат поступили отзывы:**

**1. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт им. П. Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН)** (И. о. зав. сектором теории лазерной плазмы Отделения квантовой радиофизики ФИАН г.н.с., д.ф.-м.н., проф. С. Ю. Гуськов) – отзыв положительный, с замечанием:

- В работе описан ряд очень интересных нелинейных явлений и, на мой взгляд, было бы полезно описать конкретные условия их экспериментального наблюдения или применения.

**2. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» (НИУ «МЭИ»)** (Профессор НИУ «МЭИ» д.ф.-м.н., проф. О. А. Синкевич) - отзыв положительный, с замечаниями:

- Из результатов, приведенных в автореферате, трудно понять на сколько в диссертации обосновано использование приближения «горячая двух температурная бесстолкновительная плазма» и области существования такой плазмы.

- Следовало бы оценить роль переноса излучения в рассматриваемой горячей двух температурной бесстолкновительной плазме.

- На мой взгляд, более детального анализа заслуживает обсуждение влияние собственного и внешнего магнитных полей на исследуемые процессы. Хотелось бы понять, насколько применимы полученные в диссертации результаты подходят, например, к описанию процессов в магнитосфере Земли.

**3. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теоретической физики им. Л. Д. Ландау Российской академии наук (ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН)** (В.н.с. ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН д.ф.-м.н. Н. А. Иногамов) - отзыв положительный, с замечанием:

- В работе рассмотрен важный вопрос об охлаждении электронов и обмене энергией между электронами и ионами при расширении плазмы в вакуум. Такой вопрос очень важен для проводящихся во многих лабораториях мира исследований о генерации потоков ионов большой энергии. В диссертации задача рассмотрена для полубесконечной плазмы. Значительный интерес представляли бы такие исследования для плазмы конечной протяженности, например, для плоского слоя плазмы. Тогда можно было бы изучить обмен энергией между электронами и ионами и при возникающем взаимодействии движущихся навстречу друг другу волн охлаждения электронов.



4. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша Российской академии наук (ИПМ им. М. В. Келдыша РАН) (В.н.с. ИПМ им. М. В. Келдыша РАН д.ф.-м.н. В. Ф. Ковалев) - отзыв, положительный, с замечанием:

- Замечание заключается в избыточной, на мой взгляд, детализации при изложении основных результатов работы. Такая степень подробности более уместна для раздела, в котором излагается содержание работы.

5. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теоретической физики им. Л. Д. Ландау Российской академии наук (ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН) (С.н.с. ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН д.ф.-м.н. Ю. В. Петров) - отзыв положительный, без замечаний.

**Выбор официальных оппонентов** обосновывается тем, что:

- д.ф.-м.н., проф. Н. С. Ерохин является ведущим ученым в области физики плазмы, автор широко известных работ по волновым процессам в неоднородной плазме и трансформации волн. Под его руководством исследуется перспективное направление в методах генерации потоков ультрарелятивистских частиц в космической плазме.

1. Ерохин Н. С., Захаров В. Е., Зольникова Н. Н., Михайловская Л. А. Точно решаемая модель резонансного туннелирования электромагнитной волны в плазме с мелко-масштабными неоднородностями // Физика плазмы. 2015. Т. 41, № 2. С. 200.

2. Shkevov R., Erokhin N. S., Mikhailovskaya L. A., Zolnikova N. N. Numerical investigation of the surfatron acceleration efficiency of charged particles by wave packets in space plasma // Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. 2013. V. 99, Issue 1. P. 73.

3. Андреев Д. Г., Ерохин Н. С., Зольникова Н. Н. Генерация быстрых заряженных частиц в плазме волной со стохастически прыгающей фазой // Физика плазмы. 2012. Т. 38, № 8. С. 716.

- д.ф.-м.н., профессор Крайнов В. П. - ведущий ученый в области теоретической физики, внесший значительный вклад в исследование процессов, происходящих при взаимодействии лазерного излучения с веществом, и возникающей при этом плазмы. Его научные статьи и книги хорошо известны ученым во всем мире.

1. Крайнов В. П. Термоядерный синтез в сильном лазерном поле // Ядерная физика. 2014. Т. 77, № 8. С. 1060-1074.

2. Krainov V. P. Multiphoton processes at the induced inverse bremsstrahlung in dense plasmas // Contributions to Plasma Physics. 2013. V. 53, № 10. PP. 758 – 766.

3. Krainov V. P. Application of the mathematical Graf's addition theorem to the problem of electron energy absorption in laser -irradiated plasma // Physica Scripta. 2013. V. 87, № 3. P. 038111.

- д.ф.-м.н. Сасоров П. В. является ведущим ученым в области физики плазмы. Широко известны его работы по физике плазмы с высокими параметрами в Z-пинчах, маг-



нитной гидродинамике и математической физике. Он плодотворно сотрудничает с экспериментальными группами, исследующими процессы в плазме.

1. Сасоров П. В., Фомин И. В. Интеграл столкновений в кинетическом уравнении для разреженного электронного газа с учетом его спин-поляризации // ЖЭТФ. 2015. Т. 147, № 6, С. 1271.

2. Bobrova N. A, Sasorov P. V., Benedetti C., Bulanov S. S., Geddes C. G. R., Schroeder C. B., Esarey E., Leemans W. P. Laser-heater assisted plasma channel formation in capillary discharge waveguides // Physics of Plasmas. 2013. V. 20, № 2. P. 020703.

3. Basko M. M., Sasorov P. V., Murakami M., Novikov V. G., Grushin A. S. One-dimensional study of radiation-dominated implosion of a cylindrical tungsten plasma column // Plasma Phys. Control. Fusion. 2012. V. 54, № 5. P. 055003.

Выбор Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П. Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН) в качестве ведущей организации обусловлен тем, что ФИАН является многопрофильной организацией, проводящей обширные физические исследования, в том числе и в области физики плазмы. В Отделении квантовой радиофизики ФИАН ведутся работы по инерциальному термоядерному синтезу и физике лазерной плазмы, включая исследования сильного ускорения ионов для создания компактных ускорителей частиц с широким кругом практических приложений. Работы коллектива ученых, руководимого д.ф.-м.н., проф. В. Ю. Быченковым широко известны мировому научному сообществу и входят в число самых цитируемых работ.

1. Быченков В. Ю., Брантов А. В., Говрас Е. А., Ковалев В. Ф. Лазерное ускорение ионов: новые результаты, перспективы применения // Успехи физических наук. 2015. Т. 185, № 1. С. 77.

2. Говрас Е. А., Быченков В. Ю. Об энергии ионов при разлете горячего плазменного слоя в вакуум // Письма в ЖЭТФ, Т. 98, № 1-2, С. 78, 2013.

3. Брантов А. В., Быченков В. Ю., Размус В. Нестационарная кинетическая теория ионного переноса в плазме для малых возмущений // Физика плазмы. 2013. Т. 39, № 9. С. 786.

Диссертационный совет отмечает, что **на основании выполненных соискателем исследований:**

- Получены численные и аналитические решения задачи о расширении в вакуум электрон-ионной плазмы, плазмы с отрицательными ионами и ион-ионной плазмы, а также задачи о расширении в вакуум плоского слоя плазмы (электрон-ионной плазмы и плазмы с отрицательными ионами). Кроме того, решены задачи о расширении плазмы в плазму, о затекании следа за быстро движущимся телом и об эволюции возмущения плотности плазмы.

- Для квазинейтральных движений плазмы получено решение для простых волн, выведено линейное уравнение для произвольного движения и представлено решение за-



дачи Гурса. Выведено уравнение для критических значений амплитуд стационарно движущихся волн, найдены зависимости этих значений от ионной температуры, определена доля отраженных от волны ионов и установлено, что она резко возрастает в небольшом диапазоне амплитуд вблизи критического значения.

- Установлены основные свойства и закономерности развития нелинейных явлений в рассматриваемых задачах. Описаны волны разрежения и их взаимодействие, волны охлаждения в электрон-ионной и в ион-ионной плазме, бесстолкновительные ударные волны сжатия и разрежения (в плазме с отрицательными ионами), ионно-звуковые солитоны и кавитоны, а также процессы ускорения ионов, формирования многопоточкового движения и развития неустойчивости.

- В задаче о расширении электрон-ионной плазмы в вакуум найдена граница области квазинейтральности, устанавливающая область применимости аналитических решений, получены решения в области положительного пространственного заряда, описано взаимодействие этой области с областью квазинейтральности, определены характеристики движения ионного фронта.

- Описано отличие ионно-звуковых солитонов от солитонов Кортевега – де Вриза и показано, что в ионно-звуковом солитоне имеет место разделение зарядов. Определено влияние ионной температуры и отраженных ионов на движение волн. Найдено, что бесстолкновительная диссипация за счет отражения ионов может существенно изменить амплитуду, скорость и форму волны, а при полном отражении ионов профиль бесстолкновительной ударной волны принимает вид, характерный для газодинамических течений. Продемонстрировано, что бесстолкновительная ударная волна со временем трансформируется в цепочку ионно-звуковых солитонов.

- Установлено, что при расширении в вакуум плазмы с отрицательными ионами может образовываться бесстолкновительная ударная волна, в которой положительные ионы испытывают разрежение, а отрицательные – сжатие, и найдены условия её образования. Показано, что за счет встречного движения потоков положительных и отрицательных ионов развивается неустойчивость. Дисперсия ограничивает её возбуждение и распространение в пространстве, в результате чего в течении плазмы сосуществуют ламинарная осцилляторная структура бесстолкновительной ударной волны и область развитой неустойчивости.

**Научная и практическая значимость работы.** Значимость работы определяется тем, что здесь найдены решения ряда важных задач и описаны основные закономерности развития нелинейных явлений. Целесообразность практического использования полученных результатов видна из того, что они хорошо описывают соответствующие эксперименты.

Новый подход к изучению квазинейтрального движения бесстолкновительной плазмы, выведенное линейное уравнение для произвольного движения, полученные реше-



ния для простых волн и задачи Гурса могут быть использованы при изучении других задач.

Полученные в работе результаты решения задач о расширении плазмы в вакуум или в плазму меньшей плотности могут быть полезны для имеющих практическую направленность исследований о сильном ускорении ионов в лазерной плазме, при изучении обтекания ионосферной плазмой искусственных спутников Земли или обтекания солнечным ветром Луны, при рассмотрении таких явлений в космической плазме, как вспышки на Солнце.

Важность задачи о расширении плазмы с отрицательными ионами в вакуум видна, в частности, из того, что при этом трёхкомпонентный состав плазмы может быть нарушен в значительной области пространства, а в другой области может развиваться неустойчивость. Эти явления надо учитывать при работе с такой плазмой.

Изучение нелинейных движений ион-ионной плазмы не только само по себе представляет интерес, но и может быть полезным для понимания явлений, происходящих в электрон-позитронной плазме. Такая плазма может находиться в некоторых астрофизических объектах.

В работе предложен и опробован в численном эксперименте метод диагностики плазмы, основанный на измерениях ряда зависимостей для потока выходящих из плазмы ионов при её расширении.

С большими градиентами плотности плазмы исследователи имеют дело при изучении инерциального термоядерного синтеза, лазерной плазмы, ионных источников, газоразрядных устройств, некоторых астрофизических явлений. По таким направлениям ведутся работы в Физическом институте им. П. Н. Лебедева РАН, Институте общей физики им. А. М. Прохорова РАН, Институте теоретической физики им. Л. Д. Ландау РАН, Институте прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН, Институте космических исследований РАН, Объединенном институте высоких температур РАН, НИЦ «Курчатовский институт», ГНЦ РФ «Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований», ВНИИ автоматики им. Н. Л. Духова и в других научных институтах в России и за рубежом. Во многих случаях для анализа и описания исследуемых явлений можно использовать представленные в диссертации результаты.

**Оценка достоверности результатов.** Представленные в диссертации численные решения с высокой точностью совпадают с соответствующими аналитическими решениями, как найденными ранее другими авторами, так и полученными в этой работе. В диссертации проводится сравнение численных и аналитических решений с соответствующими экспериментальными результатами других авторов. Все экспериментальные данные хорошо соответствуют полученным решениям. Это свидетельствует о достоверности представленных результатов.



**Личный вклад соискателя.** Диссертация обобщает результаты, изложенные в научных публикациях автора, написанных как в соавторстве с другими авторами, так и без соавторов. Вклад автора в совместно написанные работы состоит в следующем.

1) Во всех работах автор проводил численные расчёты, включая разработку, отладку и тестирование программ для численного моделирования течений плазмы, проведение конкретных расчетов и обработку результатов.

2) Автор участвовал в совместных обсуждениях постановок задач и результатов расчётов, а также в подготовке рукописей к публикации.

Диссертационным советом сделан вывод о том, что диссертация представляет собой работу, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение. Диссертация соответствует критериям пункта 9, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней № 842 от 24.09.2013г.

На заседании от 28.09.2016г. диссертационный совет принял решение присудить Медведеву Ю. В. ученую степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 21 человека, из них 9 докторов наук по специальности 01.04.08 – физика плазмы и 11 докторов наук по специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника, участвовавших в заседании, из 31 человека, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 21 против 0, недействительных бюллетеней 0.

Зам. председателя диссертационного совета Д 002.110.02,  
чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор

Ученый секретарь диссертационного совета Д 002.110.02  
к.ф. - м.н.

Г.И. Канель

М.М. Васильев

М.П.

