

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, ijht.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 совете 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 мелкомасштабными 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, магнитной 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 задачи 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 решения 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

28.09.2016г.

М.П.

