

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

СТЕНОГРАММА

заседания диссертационного совета 24.1.193.01 (Д 002.110.02), созданного на базе
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Объединенного института высоких температур Российской академии наук
(125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2)
от 5 июня 2024 г. (протокол № 4)

Защита диссертации **Трухачёва Фёдора Михайловича**
на соискание ученой степени доктора физико-математических наук
«Взаимодействие солитонов акустического типа с заряженными частицами в плазме»
Специальность 1.3.9 – физика плазмы

СТЕНОГРАММА

заседания диссертационного совета 24.1.193.01 (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).

Протокол №4 от 5 июня 2024 г.

Диссертационный совет 24.1.193.01 (Д 002.110.02) утвержден Приказом Министерства образования и науки РФ от 11.04.2012 г. № 105/нк в составе 31 человека. На заседании присутствуют 23 человек, из них 10 докторов наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы и 10 докторов наук по специальности 1.3.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника. Дополнительно введены на разовую защиту 0 человек. Кворум имеется.

Председатель – председатель диссертационного совета 24.1.193.01 (Д 002.110.02) д.ф.-м.н., профессор, академик РАН Петров Олег Фёдорович

Ученый секретарь – ученый секретарь диссертационного совета 24.1.193.01 (Д 002.110.02) к.ф.-м.н. Тимофеев Алексей Владимирович

1.	Петров О.Ф.	д.ф.-м.н., проф., академик РАН	1.3.9, техн. науки	Присутствует
2.	Андреев Н.Е.	д.ф.-м.н., проф.	1.3.9, физ.-мат. науки	Отсутствует
3.	Храпак А.Г.	д.ф.-м.н., проф.	1.3.14, физ.-мат.науки	Присутствует
4.	Тимофеев А.В.	к.ф.-м.н.	1.3.9, техн. науки	Присутствует
5.	Агранат М.Б.	д.ф.-м.н.	1.3.14, техн. науки	Подключен
6.	Амиров Р.Х.	д.ф.-м.н., ст.н.с.	1.3.9, физ.-мат. науки	Подключен
7.	Беляев И.А.	к.т.н.	1.3.9, техн.науки	Присутствует
8.	Вараксин А.Ю.	чл.-корр.РАН, д.ф.-м.н., проф.,	1.3.14, физ.-мат.науки	Присутствует
9.	Васильев М.М.	д.ф.-м.н.	1.3.9, физ.-мат. науки	Присутствует
10.	Васильев М.Н.	д.ф.-м.н., доцент	1.3.14, техн. науки	Подключен
11.	Василяк Л.М.	д.ф.-м.н., проф.	1.3.9, техн. науки	Присутствует
12.	Гавриков А.В.	д.ф.-м.н., доцент	1.3.9, техн. науки	Присутствует
13.	Голуб В.В.	д.ф.-м.н., проф.	1.3.14, техн. науки	Отсутствует
14.	Грязнов В.К.	д.ф.-м.н., г.н.с.	1.3.14, физ.-мат. науки	Подключен
15.	Дьячков Л.Г.	д.ф.-м.н., в.н.с.	1.3.9, техн. науки	Присутствует
16.	Еремин А.В.	д.ф.-м.н., проф.	1.3.14,	Присутствует

17.	Зейгарник Ю.А.	д.т.н., старший научный сотрудник	физ.-мат. науки 1.3.14, техн. науки	Отсутствует
18.	Зеленер Б.Б.	д.ф.-м.н.	1.3.9, техн. науки	Отсутствует
19.	Зобнин А.В.	д.ф.-м.н.	1.3.9, физ.-мат. науки	Присутствует
20.	Иосилевский И.Л.	д.ф.-м.н., проф.	1.3.9, физ.-мат. науки	Подключен
21.	Киверин А.Д.	д.ф.-м.н., проф.	1.3.14, физ.-мат. науки	Присутствует
22.	Лагарьков А.Н.	д.ф.-м.н., проф., академик РАН	1.3.9, физ.-мат. науки	Отсутствует
23.	Левашов П.Р.	д.ф.-м.н.	1.3.14, физ.-мат. науки	Присутствует
24.	Ломоносов И.В.	чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., проф.	1.3.14, техн. науки	Отсутствует
25.	Медин С.А.	д.т.н., проф.	1.3.14, техн. науки	Отсутствует
26.	Норман Г.Э.	д.ф.-м.н., проф.	1.3.9, физ.-мат. науки	Присутствует
27.	Пикуз С.А.	к.ф.-м.н.	1.3.9, физ.-мат. науки	Подключен
28.	Савватимский А.И.	д.т.н.	1.3.14, техн. науки	Подключен
29.	Стегайлов В.В.	д.ф.-м.н., доц.	1.3.9, техн. науки	Отсутствует
30.	Филиппов А.В.	д.ф.-м.н., проф.	1.3.9, физ.-мат. науки	Присутствует
31.	Яньков Г.Г.	д.т.н., старший научный сотрудник	1.3.14, физ.-мат. науки	Подключен

ПОВЕСТКА ДНЯ

На повестке дня защита диссертации старшего научного сотрудника лаборатории 17.3 – активных кулоновских систем Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Объединенный институт высоких температур Российской академии наук» (ОИВТ РАН) **Трухачёва Фёдора Михайловича** на тему «Взаимодействие солитонов акустического типа с заряженными частицами в плазме». Диссертация впервые представлена на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы. Диссертация выполнена в лаборатории 17.3 – активных кулоновских систем Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Объединенный институт высоких температур Российской академии наук» (ОИВТ РАН; Россия, 125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2, <https://jiht.ru>).

Научный консультант:

Васильев Михаил Михайлович – д.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник лаборатории № 17.3. – активных кулоновских систем Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Объединенный институт высоких температур Российской академии наук» (ОИВТ РАН; Россия, 125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2, <https://jiht.ru>).

Официальные оппоненты:

Попель Сергей Игоревич - гражданин РФ, д.ф.-м.н., профессор, заведующий лабораторией плазменно-пылевых процессов в космических объектах Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт космических исследований Российской академии наук» (ИКИ РАН; Россия, 117997, г. Москва, ул. Профсоюзная 84/32, тел: +7 (495) 333-52-12, сайт: <https://iki.cosmos.ru/>, e-mail: iki@cosmos.ru).

Карасев Виктор Юрьевич – гражданин РФ, д.ф.-м.н., профессор кафедры общей физики I физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» (СПбГУ; Россия, 199034, г. Санкт-Петербург, Университетская набережная, д. 7–9, тел: +7 (812) 328-20-00, сайт: <https://spbu.ru/>, e-mail: v.karasev@spbu.ru).

Дубинов Александр Евгеньевич – гражданин РФ, д.ф.-м.н., доцент, главный научный сотрудник Федерального государственного унитарного предприятия «Российский федеральный ядерный центр - Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики» (РФЯЦ - ВНИИЭФ; Россия, 607188, Нижегородская обл., г. Саров, пр. Мира, 37, тел: 8 (83130) 2-48-02, сайт: <https://www.vniief.ru/>, e-mail: dubinov-ae@yandex.ru).

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН; Россия, 630090, Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 1, тел.: +7 (383) 330-90-40, www.itp.nsc.ru, e-mail: director@itp.nsc.ru).

На заседании присутствуют официальные оппоненты д.ф.-м.н., профессор Попель С.И., д.ф.-м.н., профессор Карасёв В.Ю., а также научный консультант Трухачёва Ф.М. д.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник Васильев М.М. По видеосвязи подключился официальный оппонент д.ф.-м.н., главный научный сотрудник Дубинов А.Е.

СТЕНОГРАММА

Председатель

Добрый день, уважаемые коллеги. У нас имеется кворум, поэтому мы начинаем работу диссертационного совета. У нас на повестке защита диссертации Фёдора Михайловича Трухачёва на тему «Взаимодействие солитонов акустического типа с заряженными частицами в плазме», представленной на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.9 физика плазмы.

Ученый секретарь

Информирует членов совета об особенностях работы в смешанном очно-дистанционном формате, зачитывает данные о соискателе по материалам личного дела и сообщает о соответствии представленных документов требованиям ВАК Министерства науки и высшего образования РФ.

Председатель

Слово предоставляется Фёдору Михайловичу Трухачёву для изложения основных положений.

Трухачёв Фёдор Михайлович

Выступает с докладом по диссертационной работе (выступление не стенографируется, доклад Трухачёва Ф.М. прилагается).

Председатель

Фёдор Михайлович, спасибо за детальное изложение основных результатов своей работы. Сейчас мы переходим к обсуждению. Кто хотел бы задать вопросы? Пожалуйста.

Василяк Леонид Михайлович

Возбуждение импульсных электрических токов это свойство любого солитона или только пыле-акустического? Потому что у вас в выводах написано «для солитонов», а по ощущениям это относится только к пыле-акустическим солитонам.

Трухачёв Фёдор Михайлович

Детальные результаты изложены, в первую очередь, для ионно-звуковых солитонов. Те модели, которые здесь были представлены, это довольно упрощенные модели, они, тем не менее, обладают некоторым подобием. Для представленных качественных исследований их было достаточно. Я старался упростить рассмотрение эффектов и не «носить с собой» огромное количество второстепенных параметров. Если рассчитывать трение, столкновения, и другие параметры, то появляются уравнения, которые только усложняют картину. Поэтому генерация электрических однонаправленных токов это свойство солитонов акустического типа: ионно-звуковых, электронно-акустических и пыле-акустических. Вот эти три модели мы рассмотрели. Я хочу отметить, что для ионно-звукового солитона рассматривался только ионный ток. Для горячих «Больцмановских» электронов ток не рассчитывался. Если это электронно-акустический солитон, то, рассчитывался ток электронов холодной фракции, если пыле-акустический, то – ток пылевой фракции.

Василяк Леонид Михайлович

Второй вопрос для пыле-акустических солитонов, которые, как было сказано, почти стоят на месте. Какие критерии для их возникновения? Могли ли бы вы сформулировать условия их получения?

Трухачёв Фёдор Михайлович

На данном рисунке (*демонстрируется рисунок из презентации*) представлена та область параметров, которую нам удалось просчитать, здесь представлены кривые, которые как раз отображают зависимость скорости солитона от величины δ . Здесь δ – это отношение начальных концентраций ионов и электронов. Мы знаем, что в пылевой плазме частички отрицательно заряжены, они имеют большие заряды, и, как правило, n_i всегда больше, чем n_e . Поэтому этот параметр (δ) важен при рассмотрении пылевой плазмы. Далее, для водородной плазмы у нас ионов должно быть в 20 раз больше, чем электронов в невозмущенном состоянии. То есть, нужна большая концентрация пыли, она должна быть сильно заряжена отрицательно. При этом должен выполняться баланс (условие квазинейтральности).

Ну и второе, нужно учесть отношение температуры ионов к электронам. Ионы и электроны должны иметь примерно одинаковую температуру. То есть, желательно, получить T_i примерно равным T_e .

А также важно отношение массы ионов буферного газа к массе электронов. Этот параметр также играл важную роль. Как видно из рисунка (*демонстрируется рисунок из презентации*), для водородной плазмы, области существования таких (ультрамедленных) солитонов находится в разумном диапазоне. Для гелиевой плазмы также можно подобрать область их существования, хотя она будет уже. А вот для аргоновой плазмы, необходима область очень больших значений параметра δ , что вряд ли реализуется на практике.

Василяк Леонид Михайлович

Понятно, спасибо. Согласен. И еще один вопрос. Для ионно-звуковых солитон найдено смещение заряженных частиц. А для пыле-акустических солитонов будет наблюдаться смещение пылевых частиц, ведь у нас сначала идет отрицательная, а затем положительная полярность электрического поля? За счет этого пылевые частицы останутся на месте?

Трухачёв Фёдор Михайлович

Если рассматривать бесстолкновительную пылевую плазму, то пылевые частицы также (по аналогии с ионами в случае ионно-звукового солитона) будут передвигаться вперед на несколько радиусов Дебая. Но, безусловно, реальная пылевая плазма практически всегда является столкновительной. Поэтому, с учетом диссипации, будет реализовываться перемещение вперед и некоторое смещение назад, что наблюдалось в эксперименте, описанном в нашей публикации, которая так и называется – «Крупномасштабный перенос заряженных макрочастиц, индуцированный пыле-акустическими солитонами». Эта статья включена в материалы диссертации. Более наглядно, траектории пылевых частиц представлены на данном рисунке (*демонстрируется рисунок из презентации*). Штриховая кривая соответствует консервативному случаю и отражает односторонний перенос на несколько радиусов Дебая. На практике следует ожидать траектории, отображенные сплошной и пунктирной кривыми. Т.е. движение частиц вперед (в направлении движения солитона) сохранится, но будет не таким выраженным. Это движение больше похоже на дрейф Стокса, предельным случаем которого является солитонный перенос заряда (как показано в диссертации). Движение с указанными параметрами наблюдается в экспериментах, в том числе в тех, что описаны в диссертации.

Василяк Леонид Михайлович

Последний вопрос касается терминологии. В докладе звучали термины ионно-звуковой, но пыле-акустический. Кроется ли какое-либо отличие в терминах «звуковой», «акустический»?

Трухачёв Фёдор Михайлович

Это действительно проблема терминологии. Традиционно термин «ионно-звуковые» относятся к ионной акустической волновой моде. В то же время, термины «пыле-» и «электронно-акустические» относят к пылевой и электронной акустическим модам, соответственно. К слову, в английском языке тоже есть подобная проблема. Стоит отметить, что все указанные выше типы солитонов имеют одинаковую природу (суть) и отличаются характерными временами.

Председатель

Я хотел сделать короткий комментарий по поводу терминологии. Что касается плазмы с микроскопическими частицами, ей очень не везет в этом плане. Потому что с тех самых первых наблюдений устоявшейся терминологии не было. Как вы знаете, в нашем институте плазма называлась в 80-е годы плазмой с конденсированной дисперсной фазой, плазмой с КДФ. Хотя в то же время существовали понятия «аэрозольная», «коллоидная» плазма, потом появилось понятие «пылевая плазма». Сейчас лучше не стало. Почему? Потому, что пыль часто считается такой же компонентой как ионы и электроны. В экспериментах это может быть, однако, в тех опытах, о которых Фёдор Михайлович рассказывает этого нет. В таких системах может локально (на масштабе облака) нарушаться условие квазинейтральности и наблюдаться отклонение от равновесного состояния. Поэтому проблема с терминологией есть.

Если еще вопросы? Пожалуйста, Андрей Вячеславович.

Зобнин Андрей Вячеславович

Когда речь шла о радиусе Дебая применительно к пылевой плазме, что под ним понималось? Как правило, пылевая плазма не идеальна, соответственно, понятие радиуса Дебая не является тривиальным. Когда говорилось, что можно измерить радиус Дебая, как его оценивали? Что под этим радиусом Дебая понималось?

Трухачёв Фёдор Михайлович

В качестве Дебаевского радиуса принимался, в первую очередь, ионный Дебаевский радиус. Эксперимент, про который вы говорите, в ультрахолодной коллоидной плазме, действительно являлся уникальным и очень интересным. Это один из тех экспериментов, где в процессе работы появлялась еще одна дополнительная фракция. Действительно, изначально были электроны, ионы, нейтралы и микронные частицы, полидисперсные. Через 20 минут (после инициации разряда) появился какой-то туман. Выяснилось, что это субмикронная фракция, которая возникала в результате ионной бомбардировки электрической вставки, которая фокусирует ионные и электронные потоки. И в холодной плазме наблюдалась конденсация продуктов распыления. Она (субмикронная фракция) и при комнатной температуре тоже наблюдалась (в последующих экспериментах). С помощью специальных методов удалось получить распределение по размерам для конденсированной фракции, как оказалось мы имели размеры от 10 до 70 нанометров (поэтому, конечно же, в оптическом микроскопе такие частицы нельзя было рассмотреть). Сразу возник вопрос, как такие субмикронные частицы влияют на радиус Дебая, ведь они могут экранировать большие (микронные) частицы. После анализа сил было установлено, что, указанные частицы получают заряд и устремляются вверх со сверхзвуковой скоростью. Ну а при движении частиц со сверхзвуковыми скоростями они не участвуют в экранировке, они просто пролетают мимо (микронных) заряженных частиц. Поэтому мы остановились на том, что в качестве Дебаевского радиуса можно использовать ионный радиус Дебая. Эта гипотеза подтверждается тем, что в момент появления субмикронных частиц, расстояние между большими (микронными) частицами не сильно изменилось. Точнее, оно, конечно же, уменьшилось, но не на порядки. Таким образом, нанодисперсия не должна сильно влиять на экспериментальные параметры (на радиус Дебая).

Зобнин Андрей Вячеславович

Спасибо. У меня есть второй вопрос. Частицы, насколько я понимаю, висели в поле силы тяжести. Ведь в условиях земной гравитации необходимо учитывать силу тяжести. Значит, их левитацию поддерживало электрическое поле. В вашей теории это внешнее гравитационное поле как-то учитывалось или им пренебрегалось?

Трухачёв Фёдор Михайлович

В рассмотренной теории, которая здесь была предложена, гравитация учитывалась в том смысле, что она являлась частью динамического баланса (баланса сил). И полагалось, что анализируемое движение частиц было локальным и не возмущало указанный силовой баланс. Изменение заряда при этом происходит, но оно полагалось малым, т.е. заряд полагался постоянной величиной. Что касается ширины солитонов, мною было предложено анализировать ширину профиля концентрации. В основном почему-то анализируется ширина профиля потенциала. При этом, профиль потенциала, напрямую сложно измерить, в то время как профиль концентрации наглядно наблюдается. В рамках разных моделей, пыле-акустический солитон, получается весьма локализованным (узким). То есть, его ширина имеет порядок нескольких радиусов Дебаев (один-два).

Зобнин Андрей Вячеславович

Спасибо.

Председатель

Продолжаем дискуссию. Пожалуйста, Павел Ремирович.

Левашов Павел Ремирович

Уравнения гидродинамики, которые вы используете, имеют решения не только солитонного типа. Что произойдет при увеличении амплитуды солитона? Останется он солитоном или он превратиться в нечто иное, например, в ударную волну?

Трухачёв Фёдор Михайлович

Мы рассматривали классическую модель ионно-звукового солитона, в двухкомпонентной плазме. В этом случае, максимальное число Маха составляло 1,6, а максимальная амплитуда - 1,2. Необходимо учесть, что число Маха и амплитуда являются безразмерными величинами. При амплитуде большей, чем 1,2 (эта амплитуда называется критической) передний фронт солитона, как было показано, ускоряет заряженную частицу так сильно, что она покидает область волны. То есть, наблюдается рассеяние заряженных частиц. В этом случае наблюдается опрокидывание солитона. Раньше считалось, что этот процесс влечёт разрушение солитона. Однако, в экспериментах в пылевой плазме, сверхкритический солитон не разрушался, а продолжал движение. При этом рассеянные частицы совершали колебательное движение новой природы, и продолжали двигаться дальше вместе с ним (с солитоном). При этом рассеянные частицы, составляли часть профиля концентрации. Наблюдаемая волна являлась не классическим солитоном, а уединенной волной новой природы. Существующие теоретические модели не позволяют количественно описать новые волновой процесс. Другими словами, существующие модели предсказывают разрушение сверхкритического солитона, однако эксперимент свидетельствует об обратном. По-видимому, есть какой-то новый волновой механизм. В современной литературе обсуждается эффект «прилипания» заряженных частиц к переднему фронту солитона. Это явление получило название «захват без ямы» (no-trough trapping). Это новое феноменологический результат, интересный, ожидающий теоретической интерпретации.

Председатель

Спасибо. Еще вопросы, пожалуйста.

Киверин Алексей Дмитриевич

В докладе я услышал критику определения волны. Вы указали, что волны переносят не только импульс и энергию, но и вещество. Но если волна может переносить импульс, то она должна переносить и вещество?

Трухачёв Фёдор Михайлович

Так и есть, в классическом определении волны, во всех известных его формах, есть положение о том, что импульс переносится, а вещество – нет. Классическое определение волны справедливо только для линейного случая (волн с гармоническим профилем и бесконечно малой амплитудой). Для нелинейных волн он начинает расходиться с действительностью (проявляется дрейф Стокса). Для уединенных волн и солитонов оно перестает действовать вовсе.

Майоров Сергей Алексеевич

У меня два коротких вопроса. Первый вопрос касается электронной температуры – как она рассчитывалась и чему была равна по порядку? Являлась ли она «Максвелловской»? Второй вопрос, касается криогенной плазмы. Хорошо известны, уже 30 лет, эффекты конверсии ионов в гелия в молекулярные ионы (двукратные, трехкратные). Для них нет эффекта перезарядки, а масса их, соответственно, в 2-3 раза больше чем масса гелия и они, в соответствии с работами Марковца, играют очень большую роль. Учитывался ли как-то этот эффект или оценивалось хотя бы его влияние.

Трухачёв Фёдор Михайлович

Электроны полагались «Максвелловскими» (равновесными). В самом первом, грубом приближении даже ионы полагались «Максвелловскими» (равновесными), поскольку, их потоковая скорость была меньше, чем тепловая скорость. Для оценки электронной температуры использовались величины электрическое поле разряда и длина свободного пробега. Это было оценочное исследование. Как правило, в лабораторной пылевой плазме, в тлеющем разряде, это несколько электрон-вольт. Мы получили такое же значение по порядку величины, поэтому нас это удовлетворило.

По поводу второго вопроса. Мною было изучено множество научных работ по ионному составу такой плазмы (гелиевой). В расчётах я не останавливался на этом вопросе.

Председатель

Еще ли ещё вопросы? Пожалуйста.

Амиров Равиль Хабибулович

Вы рассмотрели три типа солитонов: ионно-звуковые, электронно-акустические, пыле-акустические. Вы могли бы определить области их существования? Чем определяются границы?

Трухачёв Фёдор Михайлович

Из указанных типов солитонов, в двухкомпонентной плазме могут существовать ионно-звуковые солитоны при условии, что электронная температура на порядки превосходит ионную температуру. Для существования электронно-акустических солитонов необходимо чтобы плазма наряду с ионами содержала, как минимум, две электронные фракции с существенно разными температурами. В такой плазме также могут существовать и ионно-звуковые солитоны, но их скорость будет на порядок меньшей по

сравнению со скоростью электронно-акустического солитона (это различие определяется отношением масс ионов и электронов). Как ионно-звуковые, так и электронно-акустические солитоны наблюдаются в экспериментах, в частности в космических (как упоминалось в докладе). Пыле-акустические солитоны реализуются в пылевой плазме (содержащей тяжелую дисперсную фракцию). Скорость таких солитонов относительно мала, она определяется инерцией пылевой фракции. Такие солитоны можно регистрировать с помощью видеокамер. Важно отметить, что в пылевой плазме могут существовать ионно-звуковые солитоны при равенстве ионной и электронной температур. Так происходит в том случае, когда ионная концентрация значительно превосходит электронную.

Председатель

Есть ли еще вопросы? Вопросов больше нет, поэтому переходим к следующему пункту, Алексей Владимирович, вам слово.

Ученый секретарь

В деле имеется заключение организации, в которой выполнена работа (ОИВТ РАН). Заключение сделано на основе выступления на семинаре. Здесь достаточно подробно описаны актуальность работы, цель, новизна, практическая значимость, научные предположения, степень достоверности, апробация, публикации, личный вклад и так далее. С учетом того, что мы только что заслушали сам доклад, если позволите, я в данном заключении и в следующих отзывах, буду пропускать общие слова, чтобы не повторяться, а обозначать только основную часть, отличающуюся от результата этих заключений и отзывов. В соответствии с заключением ОИВТ РАН, диссертация «Взаимодействие солитонов акустического типа с заряженными частицами в плазме» Трухачёва Фёдора Михайловича рекомендуется к защите в нашем диссертационном совете по специальности 1.3.9 - физика плазмы. Кроме того, есть отзыв ведущей организации, это Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук. Отзыв подписал ведущий научный сотрудник лаборатории 4.1, доктор физико-математических наук Сергей Андреевич Новопашин и ученый секретарь, кандидат физико-математических наук Максим Сергеевич Макаров. Здесь также подробно описаны и содержание, и личный вклад (написано, что не вызывает сомнений личный вклад автора). Значимость есть, замечания и вопросы. Если позволите, я остановлюсь на них. Первое, в диссертации все разрабатываемые модели и расчеты проведены для одномерного случая или плоской волны. При этом в работе не обсуждаются критерии применимости такого подхода к реальным природным и лабораторным экспериментальным ситуациям. Насколько применим такой подход к исследуемым в работе явлениям и в каких случаях необходимо дальнейшее развитие представленных моделей? Второе, в связи с открытым в диссертации явлением переноса вещества солитонами возникают следующие вопросы: откуда берется энергия для переноса вещества, теряет ли солитон свою энергию (амплитуду) при переносе вещества, как происходит сохранение импульса в системе при смещении (центра масс) вещества в пространстве? Третье, помимо полученных аналитических выражений в предельных случаях большая часть диссертационной работы посвящена численным расчетам исследуемых явлений. При этом в тексте диссертации зачастую не приводятся подробности по используемым численным методам, параметрам дискретизации пространства, времени и граничных условий, критериям устойчивости схем и др. Четвёртое, при проведении сравнения результатов разработанной пыле-акустической модели и имеющихся экспериментальных данных по волнам в пылевой газоразрядной плазме в диссертации не уделено должного внимания влиянию распределения пылевых частиц по размеру в пылевом облаке, что особенно актуально для экспериментов с криогенной газоразрядной плазмой, описанными в Главе четыре, где в пылевом облаке в

процессе распыления диэлектрической вставки в разряде образуются частицы размерами несколько нанометров? Пятое, как влияет естественный процесс флуктуации заряда пылевой частицы на полученные в диссертации результаты, ведь известно, что для частиц нанометрового размера флуктуация заряда может составлять до ста процентов. Шестое, в тексте диссертации присутствуют грамматические ошибки и опечатки, в частности, в Оглавлении в п.1.3.3., п. 4.2, п. 4.2.2. и в других местах. Все перечисленные замечания не снижают общей значимости диссертационной работы. Диссертация представляет собой законченную научную работу, которая соответствует всем критериям, установленным пунктом девять положения о присуждения ученых степеней, а её автор, Трухачёв Фёдор Михайлович, заслуживает присуждение ученой степени доктора физмат наук по специальности 1.3.9 - физика плазмы. Последний абзац про соответствие положению и про то, что диссертант заслуживает присуждение ученой степени, если позволите, в следующих отзывах тоже буду пропускать.

Также в совет поступили четыре отзыва на автореферат. Все отзывы положительные, в трёх из них есть замечания.

Первый отзыв получен от главного научного сотрудника Казахстанско-Британского технического университета, кандидата физмат наук, лауреата Государственной премии Республики Казахстан в области науки и техники, профессора М.Т. Габдуллина. Отзыв положительный, есть одно замечание: в четвертой главе автор описывает плазменно-пылевую структуру, которая находится в состоянии с экстремальным низким значением параметра неидеальности, меньше единицы. Физический механизм, переводящий полевою плазму в околоидеальное состояние, не раскрыт.

Следующий отзыв на автореферат получен от начальника лаборатории отделения теоретической физики, вычислительной математики и перспективных разработок ГНЦ РФ «ТРИНИТИ», доктора физмат наук Николая Ивановича Трушкина, подписанного в том числе ученым секретарем Александром Александровичем Ежовым. Отзыв положительный, есть замечания. Первое, автором рассмотрены не все типы плазменных солитонов. В частности, в поле зрения автора не попали альфвеновские солитоны и магнитозвуковые солитоны (последние также имеют акустическую природу). Второе, при рассмотрении механизма переноса ионов электрическим полем ионно-звуковых солитонов автор рассматривает пробный ион. Возникает вопрос о правомерности такого подхода, так как солитоны автором описываются в рамках гидродинамического подхода, в котором нет отдельных или пробных ионов. Замечания по отзыву закончены.

Следующий отзыв на автореферат получен от заведующего центра физики плазмы Государственного научного учреждения, Институт физики имени Степанова, Национальная академия наук Беларуси, доктора физмат наук, член-корреспондента Национальной академии наук Беларуси, профессора Николая Владимировича Тарасенко, подписан ученым секретарем. Отзыв положительный, есть замечания. Первое замечание. Волновой процесс вещества исследован на основе уравнения Кортевега-Де Вриза, которое является довольно универсальным математическим инструментом. Тем не менее, из содержания автореферат непонятно, ограничиваются ли полученные результаты плазменными волнами или имеют общий характер? Второе замечание. В работе используются одновременно термины коллоидная плазма и пылевая плазма для описания плазмы, содержащей пылевые частицы.

Четвертый отзыв на автореферат получен от заведующего отделением физики плазмы и плазменных технологий Института тепло и масса обмена имени Лыкова национальной академии наук Беларуси, доктора физмат наук, члена корреспондента академии наук Беларуси, Валентина Мироновича Асташинского, заверен заместителем директора института. Отзыв положительный. Замечаний нет. На этом отзывы на автореферат закончены.

Председатель

Алексей Владимирович, спасибо. Фёдор Михайлович, вам слово для ответов на замечания. Пожалуйста.

Трухачёв Фёдор Михайлович

Первый вопрос про одномерный случай. Да, действительно, в работе рассматривались только одномерные модели, и это обосновано экспериментом. Я специально привёл некоторые наши эксперименты. Как видно из рисунков, наблюдаемые волны практически плоские. Плоская геометрия значительно проще, что позволяют рассмотреть новые эффекты в рамках относительно простой математики. Безусловно, существуют сферические солитоны, цилиндрические солитоны, и это перспектива. Второй вопрос. Откуда берётся энергия? Для того, чтобы понять, откуда берётся энергия для генерации солитона, нужно рассмотреть эволюцию солитона. Здесь же мы рассматривали только стационарные солитоны, которые уже образовались и стационарно движутся. В самой диссертации этот вопрос не обсуждался. В статьях по материалам диссертации, этот вопрос обсуждался, но не был строго обоснован. То есть, в работах (статьях), которые опубликованы по материалам диссертации, высказывались гипотезы. Действительно, раз солитон переносит вещество, то нужно откуда-то это вещество взять. В бесконечной модели это не важно, в конечной надо где-то взять вещество. И если мы говорим про космос, то солитоны чаще всего наблюдаются после магнитных бурь, как раз когда в магнитосферу попадают заряженные частицы (солнечные и ионосферные). Предполагалось, что этот избыток плазмы может формировать солитоны. Ну, и дополню, что если у нас плазма бесстолкнительная, значит, диссипации нет, значит, плазма является сверхпроводником, и сгенерированные токи в такой плазме, как и перемещение вещества будут осуществляться без диссипации, без увеличения энтропии. Скорость частиц, как я уже говорил, до и после взаимодействия с солитоном остаётся неизменной, она не изменяется. Значит, потери кинетической энергии нет. Наблюдается обмен энергией между частицей и солитоном. Вначале частица забирает энергию с солитона (в первой полуволне), а потом её отдаёт (во второй полуволне). По поводу используемых теоретических численных моделей, в основном решались обычные дифференциальные уравнения, гладкие. Для их численного решения использовались стандартные методы, например, метод Рунге-Кутты четвертого порядка (в маткаде). Это традиционный подход к решению уравнения Пуассона. То есть, традиционно для анализа солитонов произвольной амплитуды используется метод Рунге-Кутты при анализе уравнения Пуассона. Безусловно, мы добивались такой сетки, после уменьшения которой уже не изменялся результат, на этом и останавливались. Но это тоже классический подход к данной задаче. Сравнение по размерам частиц. Вот в этом эксперименте (*демонстрация рисунков*), использовались монодисперсные частицы. Может быть, я где-то это не указал в самом тексте диссертации, но там, где было возможно, использовались монодисперсные частицы, потому что в этом случае мы получаем более предсказуемые результаты и такие эксперименты проще описать теоретически. А вот уже в ультрахолодной плазме, конечно же, использовались полидисперсные материалы. Потому что не так просто его загружать, доставать в разрядную плазму (в криостат). И мы исследовали пылевые облака из тех частиц, которые по размерам подходили для баланса сил и левитировали в облаке. Безусловно, там, где можно было, проводился анализ, строились гистограммы по размерам частиц, и максимум этих гистограмм использовался для теоретических моделей. Следующий вопрос – это флуктуация заряда. Безусловно, флуктуация заряда пылевой частицы – это важный вопрос. И чем меньше частица, тем больше флуктуация (относительная). Почему мы используем какое-то среднее значение? Потому что пыле-акустическая мода является медленной модой. И на этих временных масштабах мы считали, что всё-таки можно пользоваться средним (усреднённым) значением. Для каких-то быстрых процессов, безусловно, нужно учитывать флуктуации. Насчет опечаток – я согласен.

Теперь перехожу к вопросам в отзывах на автореферат. Плазма, в которой параметр гамма (Γ) был намного меньше единицы является уникальным объектом. Мы определяли параметр гамма с помощью анализа функций распределения, и с помощью парно-корреляционной функции. Это делала группа экспериментаторов. Я только анализировал эти данные. И все данные убедительно говорят о том, что параметр гамма был меньше единицы. Он был по разным данным, от 0,2 до 0,4. А вот механизм, почему гамма была такой малая, не анализировался. Были предложения. Связывалось это с тем, что заряд частиц в криогенных условиях уменьшается, поэтому уменьшается межчастичное взаимодействие. Но задача найти механизм не ставилась, и здесь я не могу точно описать указанный механизм. Хотя явление очень интересное. Это всё перспективные исследования.

Теперь отзыв Н.И. Трушкина. Действительно, альфвеновские солитоны и магнитозвуковые, не рассматривались по той причине, что оба типа солитонов существует в замагниченной плазме. Но здесь рассматривалась плазма без магнитного поля. Магнитозвуковые действительно представляют огромный интерес и есть план их рассмотреть. Справедливо ли одночастичное приближение? В диссертации использовалось не только одночастичное приближение, а в том числе одночастичное приближение. (*Демонстрация графиков*) Ну, во-первых, вот эта зависимость. Здесь я сравнил результаты одночастичного приближения с гидродинамикой. Очень хорошее согласие есть. Исходя из этого, дальше мы действовали и тем, и тем способом, в зависимости от того, какой был проще в данной ситуации. Вот ещё график. Этот график, один из ключевых, вот кривые для солитонов, перенос вещества от их амплитуды, был получен как в рамках одночастичного приближения, так и в рамках других методов. Например, вот эта точная формула получена полностью в рамках самосогласованной МГД-модели на основе КдВ-уравнения. То есть наблюдалось хорошее согласие результатов, полученных разными методами.

Перехожу к следующему отзыву (Н.В. Тарасенко). Действительно, КдВ-уравнение это довольно универсальное уравнение. Оно описывает солитоны в различных средах. Но, опять же, данные исследования выходят за тематику пылевой плазмы. Мы проверили результаты на солитонах в нелинейных линиях передач. Ну, а в диссертации мы ограничились физикой плазмой, поэтому остальные среды не рассмотрены. По поводу терминологии – согласен.

Председатель

Федор Михайлович, спасибо. Так, мы переходим к следующему пункту, к отзывам официальных оппонентов. Слово предоставляется официальному оппоненту, доктору физико-математических наук Дубинову Александру Евгеньевичу. Александр Евгеньевич будет дистанционно у нас выступать. Пожалуйста.

Дубинов Александр Евгеньевич (оппонент)

Работа его (диссертанта), как вы помните, посвящена нелинейным волнам в плазме. Ситуация такая, в мире выходит примерно в месяц более сотни статей из этой области, и найти что-то свое, не исхоженное, очень сложно. Но Фёдору Михайловичу удалось найти свою не топтанную поляну, и это перенос вещества солитонами. И он с этой задачей успешно справился. Мы занимаемся подобными исследованиями, но с упором на периодические волны. Наши результаты согласуются. Теперь, если позволите, я прочитаю замечание и заключение.

Председатель

Пожалуйста.

Дубинов Александр Евгеньевич (оппонент)

(Выступление оппонента не стенографируется. Положительный отзыв Дубинова А.Е. имеется в деле)

Заключение: Однако это замечание не умаляет теоретических и практических результатов диссертации и той высокой оценки, которую она заслуживает. Оценивая диссертационную работу Трухачева Ф.М. в целом, следует заключить, что автором выполнен большой объем весьма сложных и трудоемких расчетов и богатейший научный материал. Представленная работа имеет неоспоримую научную и практическую ценность. Результаты диссертационной работы могут быть использованы в организациях, ведущих исследования нелинейных волн в космической и лабораторной плазме. Диссертация Трухачева Ф.М. удовлетворяет требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней № 842 от 24.09.2013 г.» ВАК РФ, т.к. она представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно классифицировать как научное достижение, имеющее существенное значение для физики плазмы, а именно – научное обоснование явления переноса плазмы солитонами акустического типа. Учитывая актуальность, высокий научный уровень, новизну, достоверность полученных результатов и их практическую ценность, следует заключить, что диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор Трухачёв Фёдор Михайлович заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы.

Председатель

Так, Фёдор Михайлович, вам предоставляется слово для ответа на замечание оппонента. Пожалуйста.

Трухачёв Фёдор Михайлович

Во-первых, я благодарю оппонента за проделанную работу. Во-вторых, я познакомился с той статьей, на которую ссылается Александр Евгеньевич. Она вышла в «Физике плазмы». И могу сказать, я согласен, нормировка, предлагаемая оппонентом, является более физически обоснованной. Отмечу, что все результаты были получены до того, как я эту статью прочел, она вышла совсем недавно. Это первое. Во-вторых, что касается ультрамедленных солитонов, изначально мы, конечно же, говорили, что это существенно дозвуковые солитоны, однако после прочтения указанной статьи мы заменили это положение на ультрамедленные. И если посмотреть на график (*демонстрирует график*), который получен, то независимо от нормировки скорость таких солитонов стремится к нулю. Поэтому, конечно же, такие солитоны будут ультрамедленными. Стоит отметить появление новой задачи. Интересно, возможно, и линейная вода, или пыле-акустическая мода, также в этом случае будет ультрамедленной. Ну и тогда, действительно, коэффициент Маха может быть больше единицы. Это, интересная задача новая. Можно на ней поработать в будущем.

Председатель

Хорошо, спасибо. Переходим к следующему отзыву. Слово предоставляется официальному оппоненту, доктору физико-математических наук Карасёву Виктору Юрьевичу. Он присутствует в зале. Виктор Юрьевич, пожалуйста.

Карасёв Виктор Юрьевич (оппонент)

По уровню сильной дискуссии видно проявление того, что тематика диссертации связана с развитием теории нелинейных плазменных волн, она несомненно актуальна. Диссертация мне понравилась.

(Полное выступление оппонента не стенографируется. Положительный отзыв Карасёва В.Ю. имеется в деле).

Заключение: все сделанные замечания не портят общего положительного впечатления о диссертационной работе. Автореферат и опубликованные работы полностью раскрывают содержание диссертации. Диссертация представляет собой законченную научную работу, которая соответствует всем критериям, установленным п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней № 842 от 24.09.2013 г. (ред. 07.06.2021 г.), а ее автор Трухачёв Фёдор Михайлович заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.9 - физика плазмы.

Председатель

Виктор Юрьевич, спасибо. Слово предоставляется Фёдору Михайловичу для ответа на замечания, пожалуйста.

Трухачёв Фёдор Михайлович

Выражаю благодарность оппоненту за детальное изучение работы. Теперь кратко по вопросам. Где возможно (в экспериментах) мы анализировали как параметры плазмы, так и параметры частиц. Прежде всего, хочу сказать, что в статьях, которые использовались при подготовке диссертации размеры частиц, конечно же, указывались. В четвертую главу я не вставлял подробное описание параметров экспериментов, для того, чтобы ее сократить. Основное внимание уделялось именно волнам. Согласен, надо было более подробно расписать те параметры частиц, которые использовались. Повторюсь, что где-то, возможно, использовались сферические частицы одного размера, но в сложных условиях использовался полидисперсный материал. И по возможности также строились гистограммы по размерам частиц, которые удавалось извлечь. Не во всех случаях это было возможно. Где это было возможно, это всё проводилось. И в соответствующих наших статьях (*основа диссертации*), безусловно, эта информация есть. Механизм возбуждения солитонов, на мой взгляд, это излишнее (избыток) вещество, которое появляется в пространстве, его нужно как-то распределить. Солитоны – один из механизмов распределения вещества. Но этот вопрос ещё нужно уточнить, в диссертации он не рассматривался. Кроме того, формирование солитонов специально не исследовалось. Возможно также появление солитонов как результат потоковой неустойчивости на нелинейной стадии. Но, повторюсь, вопрос о механизме возбуждения здесь не расписан, поскольку рассматривались только стационарные модели (в которых эволюция уже закончена). Третье замечание. Число Кнудсена в работе не анализировалось специально. Как известно, число Курсона есть отношение длины свободного пробега к размерам, к размерам, допустим, камеры или размерам солитона. При этом хоть само число Курсона не рассчитывалось, но длины свободного пробега рассчитывались. В большинстве случаев в холодной плазме, в ультрахолодной плазме, длина свободного пробега, для ионов была на уровне 5 мкм. Ну и по ионам, конечно же, мы попадаем в число Кнудсена намного меньше единицы, что дает право использовать гидродинамику. Для пылевых частиц не проводилось исследование числа Кнудсена. Отмечу, что в сечении солитона помещалось достаточно большое количество частиц. Как правило, при описании экспериментов используются классические модели пыле-акустических слитонов, и мы пользовались точно такими же моделями. Хотя, повторюсь, количество частиц внутри профиля волны не подсчитывалось. Подсчитывалась относительная нормированная концентрация. Как я уже говорил, она в два раза превышала невозмущенную концентрацию, в два раза и более. Переход к размерным координатам не производился. Следующее замечание. Баланс сил в диссертацию не включён, потому что основное внимание было уделено именно волновым процессам. А в работах (*статьях по материалам диссертации*) проведен детальный анализ, особенно в работах по криогенной плазме, где было четыре компонента. Все параметры, которые было возможно оценить,

мы измеряли, рассчитывали, и баланс сил анализировали. Следующий комментарий: фотофоретическая, термофоретическая сила не учитывалась, по той простой причине, что полагалось, что температура вдоль оси разрядной трубки почти не изменялась. Анализировались плоские волны (как я уже показывал) и по сечению трубки их параметры не сильно изменяются, следовательно градиент продольной температуры был невелик в нашем случае, поэтому термофоретическая сила считалась маленькой и не учитывалась.

Председатель

Переходим к следующему отзыву, отзыву официального оппонента, доктора физико-математических наук, Попеля Сергея Игоревича. Сергей Игоревич, пожалуйста, вам слово.

Попель Сергей Игоревич (оппонент)

Я тоже, наверное, не буду очень подробно останавливаться на содержании работы. (Полное выступление оппонента не стенографируется. Положительный отзыв Попеля С.И. имеется в деле).

Заключение: Все перечисленные замечания не снижают общей значимости диссертационной работы. Рассмотренная диссертация является законченной научной работой, соответствующей всем критериям, установленным в п. 9 положения о порядке присуждения учёных степеней № 842 от 24.09.2013 г. (ред. 07.06.2021 г.), а ее автор Трухачёв Фёдор Михайлович заслуживает присуждения учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы.

Председатель

Спасибо. Сергей Игоревич, спасибо вам. Так, слово предоставляется Фёдору Михайловичу для ответа на замечания. Пожалуйста.

Трухачёв Фёдор Михайлович

Выражаю благодарность оппоненту за пройденную работу, за внимательное прочтение работы и за комментарии и вопросы. С первым комментарием я соглашаюсь. Действительно, пылевые ионно-звуковые солитоны не рассматривались в моей работе. Второй комментарий. Диссипативные солитоны и их столкновения. В стационарных моделях вряд ли получится исследовать столкновения. Нам всё-таки нужны временные модели, которые не были рассмотрены. По этой причине столкновения солитонов не учитывались. Ну и третий вопрос. Но тут я хочу сказать, что модель, которая учитывает давление пылевой компоненты, всё-таки, рассматривалась. И эта модель учитывала кинетическое давление пылевой компоненты для тёплой плазмы, для пыле-акустических солитонов, для того, чтобы посчитать количество резонансных частиц. Но эта методика после масштабирования, конечно же, может быть обобщена для анализа солитонов разных типов.

Председатель

Фёдор Михайлович, спасибо. Так, движемся дальше. Сейчас у нас время для дискуссии по диссертации. Кто хотел бы высказаться? Пожалуйста. Есть такая возможность. Леонид Михайлович, пожалуйста.

Василяк Леонид Михайлович

Уважаемые коллеги, мы заслушали очень хорошую работу по взаимодействию солитонов трёх типов, то есть по электронной компоненте, по ионной компоненте и по пылевой компоненте с частицами в плазме. Получены новые общие результаты для всех трёх типов солитонов. Кроме этого, получены результаты, которые индивидуальны для каждой из

этих компонентов, ну для солитонов данных компонентов. Аккуратно рассмотрена ситуация в том случае, если есть слабая диссипация плазмы, ну слабая диссипация при распространении солитонов. На мой взгляд, по значимости и важности полученных результатов, по их объёму, по их вкладу в теоретическую часть, а также по возможности применения на практике, которая была показана при докладе, это, несомненно, хорошая диссертационная работа. Я буду голосовать «за» и предлагаю членам учебного совета прислушаться к моему мнению и также проголосовать положительно.

Председатель

Спасибо, Леонид Михайлович. Есть ли ещё желающие? У нас было достаточно подробное обсуждение диссертации, задавались вопросы. Поэтому, по-видимому, здесь картина ясная и полная для того, чтобы каждый из присутствующих членов диссовета мог сделать свой выбор. Слово предоставляется Алексею Владимировичу для уточнения процесса голосования.

Ученый секретарь

Дорогие коллеги, напоминаю, что у нас заседание проходит в очно-дистанционном режиме. Поэтому голосуем мы на электронной платформе на сайте. Прошу всех членов диссертационного совета войти в свою учетную запись на сайте института и проголосовать. Это можно сделать на своих устройствах, или на компьютере в центре зала. *(Проводится процедура голосования).*

Председатель

Так, голосование уже закончилось, и я прошу Алексея Владимировича объявить результаты.

Ученый секретарь

Дорогие коллеги. На заседании присутствовало 23 члена диссертационного совета, в том числе докторов наук по профилю рассматриваемой диссертации 10, очно присутствовали 15 членов диссертационного совета, в том числе докторов наук по профилю диссертации 8, онлайн присутствовало 8, по профилю 2 присутствовало онлайн. Получено 23 голоса, 23 «за», 0 «против», 0 «недействительных».

Председатель

Ну, у нас все основания есть поздравить диссертанта с успешной защитой. И мы должны утвердить это решение, кто «за»?

Ученый секретарь

Кто «за»? *(Протокол счетной комиссии утвержден единогласно).*

Ученый секретарь

Теперь проект заключения смотрим.

Председатель

Теперь мы должны утвердить проект заключения с теми поправками, которые сейчас при обсуждении должны возникнуть или не возникнуть. Кто? Пожалуйста.
(Члены диссертационного совета обсуждают проект заключения).

Председатель

Большое спасибо. Есть ли ещё высказаться и сделать замечание желающим? Если нет, тогда давайте мы проголосуем за то, чтобы взять с учётом замечаний проект за основу и подготовить уже полноценное заключение. Кто «за», прошу голосовать. Так, если кто «против». Так, онлайн, если против. Кто воздержался? Есть онлайн воздержался? Нет? (*Проект заключения принят единогласно*).

Всё, спасибо. На этом мы сегодня работу завершили. Спасибо всем за участие. Хорошего дня.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.193.01 (Д002.110.02),
СОЗДАННОГО 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 05.06.2024г. № 4

О присуждении Трухачёву Фёдору Михайловичу, гражданину Республики Беларусь ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Взаимодействие солитонов акустического типа с заряженными частицами в плазме» по специальности 1.3.9 – физика плазмы принята к защите 28.02.2024 г. (протокол заседания № 2) диссертационным советом 24.1.193.01 (Д 002.110.02), созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (125412, г. Москва, Ижорская ул., д. 13, стр. 2, (495) 485-8345, jiht.ru), утвержденного Приказом Министерства образования и науки Российской Федерации № 86/нк от 26.01.2022г.

Соискатель Трухачёв Фёдор Михайлович 1977 года рождения, в 1999 году с отличием окончил Белорусское государственное учреждение высшего образования «Могилевский государственный университет им А. Кулешова». В 2008 году окончил очную аспирантуру Государственного научного учреждения «Институт физики имени Б.И.Степанова Национальной академии наук Беларуси».

Диссертацию на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук на тему: «Влияние неустойчивостей плазмы на процессы ее нагрева и переноса заряженных частиц» по специальности 01.04.08 – «Физика плазмы» защитил 11 ноября 2008 г. в диссертационном совете Д 01.05.01 при государственном научном учреждении «Институт Физики им. Б.И.Степанова Национальной академии наук Беларуси».

Работает в должности старшего научного сотрудника лаборатории № 17.3 активных кулоновских систем Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Объединенный институт высоких температур Российской академии наук».

Диссертация выполнена в лаборатории № 17.3 активных кулоновских систем Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Объединенный институт высоких температур Российской академии наук».

Официальные оппоненты:

- доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией плазменно-пылевых процессов в космических объектах Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт космических исследований Российской академии наук» (ИКИ РАН) Попель Сергей Игоревич.
- доктор физико-математических наук, профессор кафедры общей физики I физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного

учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» (СПбГУ) Карасев Виктор Юрьевич.

- доктор физико-математических наук, доцент, главный научный сотрудник Федерального государственного унитарного предприятия «Российский федеральный ядерный центр - Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики» (РФЯЦ - ВНИИЭФ) Дубинов Александр Евгеньевич.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН) в своем положительном заключении, составленном в.н.с., д.ф.-м.н. Новопашиным С.А. (утвержденном 06.05.2024 г. директором академиком РАН Марковичем Д.М.) указала, что научная значимость работы состоит в расширении существующих представлений о волновых плазменных явлениях. В диссертационной работе детально исследовано свойство плазменных солитонов акустического типа, которое заключается в одностороннем переносе (смещении) заряженных частиц, причем этим свойством нельзя пренебрегать при малых амплитудах волн. Предложен механизм этого явления. Установленный факт одностороннего переноса вещества солитонами имеет следствия: во-первых, солитоны должны возмущать функции распределения заряженных частиц (которые становятся несимметричными в областях плазмы, населенных солитонами), во-вторых, солитоны должны возбуждать электрические токи в плазме с ненулевой постоянной составляющей (солитонные токи). Также, в рамках диссертации представлены исследования, развивающие теорию диссипативных солитонов. В частности, приведены методики расчета величины тепловыделения, динамики заряженных частиц внутри профиля волны. Рассмотрен процесс рассеяния заряженных частиц диссипативным солитоном. Открыт новый тип колебательного процесса, индуцируемого диссипативными солитонами. Указанные результаты подтверждают научную значимость работы.

Прикладная значимость работы заключается в развитии методов плазменной диагностики и в интерпретации экспериментальных данных. В частности, в рамках представленных исследований был разработан новый подход для оценки радиуса Дебая в пылевой плазме, проведена интерпретация экспериментальных данных с использованием созданных теоретических моделей. Кроме того, полученные результаты могут быть полезны при интерпретации экспериментальных данных, полученных с космических аппаратов из областей активной космической плазмы, в которой возбуждаются коллективные процессы за счет энергии внешних источников.

По материалам диссертации возникли следующие замечания и вопросы:

1. В диссертации все разрабатываемые модели и расчеты проведены для одномерного случая или плоской волны. При этом в работе не обсуждаются критерии применимости такого подхода к реальным природным и лабораторным экспериментальным ситуациям. Насколько применим такой подход к исследуемым в работе явлениям и в каких случаях необходимо дальнейшее развитие представленных моделей?

2. В связи с открытым в диссертации явлением переноса вещества солитонами возникают следующие вопросы: откуда берется энергия для переноса вещества, теряет ли солитон свою энергию (амплитуду) при переносе вещества, как происходит сохранение импульса в системе при смещении (центра масс) вещества в пространстве?

3. Помимо полученных аналитических выражений в предельных случаях большая часть диссертационной работы посвящена численным расчетам исследуемых явлений. При этом в тексте диссертации зачастую не приводятся подробностей по используемым численным методам, параметрам дискретизации пространства, времени и граничных условий, критериям устойчивости схем и др.

4. При проведении сравнения результатов разработанной пыле-акустической модели и имеющихся экспериментальных данных по волнам в пылевой газоразрядной

плазме в диссертации не уделено должного внимания влияния распределения пылевых частиц по размеру в пылевом облаке, что особенно актуально для экспериментов с криогенной газоразрядной плазмой, описанными в Главе 4, где в пылевом облаке в процессе распыления диэлектрической вставки в разряде образуются частицы размерами несколько нанометров?

5. Как влияет естественный процесс флуктуации заряда пылевой частицы на полученные в диссертации результаты, ведь известно, что для частиц нанометрового размера флуктуация заряда может составлять до 100%.

6. В тексте диссертации присутствуют грамматические ошибки и опечатки, в частности, в Оглавлении в п.1.3.3., п. 4.2, п. 4.2.2. и в других местах.

Результаты работы апробированы на 35 российских и международных конференциях. Соискатель имеет 70 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 25 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 25 работ (23 из списка ВАК):

1. Volosevich A.V., Galperin Yu.I., Truhachev F.M. Theoretical models of localized electrostatic structures in the auroral magnetosphere // *Adv. Space Res.* – 2002. -V. 30(7). – P. 1677-1680.

2. Volosevich A.V., Truhachev F.M., Galperin Yu.I. Localized nonlinear electrostatic structures in the magnetosphere // *International J. Geomagnetism and Aeronomy.* – 2003. – V. 4(3). – P. 195–199.

3. Simonchik L.V., Truhachev F.M. Solitary model of the charge particle transport in the collisionless plasma // *Probl. At. Sci. Technol., Ser.: Plasma Phys.* (серия 13). –2007. –№ 1. –P. 49.

4. Arkhipenko V.I.,Gusakov E.Z., Simonchik L.V., Truhachev F.M. Suppression and feedback control of anomalous induced backscattering by pump–frequency modulation // *Phys. Rev. Letter.* – 2008. – Vol. 101. – P. 175004.

5. Arkhipenko V.I., Gusakov E.Z., Simonchik L.V., Truhachev F.M. Resonant suppression and feedback control of anomalous induced backscattering by the pump frequency modulation. *Plasma Phys. Control. Fusion.* – 2009. – V. 51. – P. 125005.

6. Трухачев Ф.М., Томов А.В. Электрические токи в плазме, индуцированные солитонами // *Космические исследования.* – 2016. – Т. 54(5). – С. 377 – 383.

7. Трухачев Ф.М., Томов А.В., Могилевский М.М., Чугунин Д.В. Электрические токи, индуцированные в плазме ионно-звуковыми солитонами: учет захваченных электронов // *Письма в ЖТФ.* – 2018. – Вып. 11. – С. 87.

8. Трухачёв Ф.М., Васильев М.М., Петров Ф.М., Севрюгов Е.Ю. Анализ пыле-акустических солитонов с учётом самосогласованного заряда пылевых частиц с использованием рядов Тейлора и функции Ламберта // *Вестник ОИВТ РАН.* – 2018. – Т. 1. – С. 26.

9. Петров О.Ф., Трухачёв Ф.М., Васильев М.М., Герасименко Н.В. Крупномасштабный перенос заряженных макрочастиц, индуцированный пыле-акустическими солитонами // *ЖЭТФ.* – 2018. – Т. 153(6). – С. 1012.

10. Trukhachev F.M., Petrov O.F., Vasiliev M.M., Sevryugov E.Yu. A new approach to analysis of dust-acoustic solitons with a self-consistent charge of dust particles // *J. Phys. A: Math. Theor.* – 2019. – V. 52. – P. 345501.

11. Trukhachev F.M., Vasiliev M.M., Petrov O.F., Vasilieva E.V. Dust-acoustic soliton breaking and the associated acceleration of charged particles // *Phys. Rev. E.* – 2019. – V. 100. – P. 063202.

12. Трухачев Ф.М., Васильев М.М., Петров О.Ф. Солитонные токи (обзор) // *ТВТ.* – 2020. – Т. 58 (4). – С. 563–583.

13. Trukhachev F.M., Petrov O.F., Vasiliev M.M., Tomov A.V. Relationship between the dust-acoustic soliton parameters and the Debye radius // *J. Phys.: Conf. Ser.* – 2020. – V. 1556. – P. 012073.

14. Gerasimenko N.V., Trukhachev F.M., Gusakov E.Z., Simonchik L.V., Tomov A.V. One-dimensional nonlinear parametric instability of inhomogeneous plasma: time domain problem // *Nonlinear Phenomena in Complex Systems*. – 2021. – V. 24 (3) – P. 272.
15. Trukhachev F.M., Vasiliev M.M., Petrov O.F., Vasilieva E.V. Microdynamic and thermodynamic properties of dissipative dust-acoustic solitons // *J. Phys. A: Math. Theor.* – 2021. – V. 54. – P. 095702.
16. Trukhachev F.M., Gerasimenko N.V., Vasiliev M.M., Petrov O.F. Elastic and inelastic particles scattering by dust acoustic soliton. A new oscillatory process in dusty plasma // *New J. Phys.* – 2021. – V.23. – P. 093016.
17. Trukhachev F.M., Boltnev R.E., Alekseevskaya A.A., Vasiliev M.M., Petrov O.F. Dust-acoustic waves in weakly coupled (gaseous) cryogenic dusty plasma // *Phys. Plasmas*. – 2021. – V.28. – P.093701.
18. Трухачёв Ф.М., Васильев М.М., Петров О.Ф. Влияние ионно-звуковых солитонов на функции распределения фоновой плазмы // *Физика плазмы*. – 2022. – Т. 48(10). – С. 967.
19. Trukhachev F.M., Boltnev R.E., Vasiliev M.M., Petrov O.F. Dust-acoustic nonlinear waves in a nanoparticle fraction of ultracold (2K) multicomponent dusty plasma // *Molecules*. – 2022. – V. 27. – P. 227.
20. Boltnev R.E., Kononov E.A., Trukhachev F.M., Vasiliev M.M., Petrov O.F. Synthesis of nanoclusters and quasy one-dimensional structures in glow discharge at $T \approx 2$ K // *Plasma Sources Sci. Technol.* – 2020. – V. 29. – P. 085004.
21. Трухачёв Ф.М., Герасименко Н.В., Васильев М.М., Петров О.Ф. Особенности функций распределения по скоростям и энергиям для пылевой фракции в присутствии пыле-акустического солитона // *Вестник ОИВТ РАН*. – 2022. – Т. 7. – С.15.
22. Трухачёв Ф.М., Болтнев Р.Е., Алексеевская А.А., Васильев М.М., Петров О.Ф. Нелинейные пыле-акустические волны в околоидеальной (газоподобной) криогенной пылевой плазме тлеющего разряда // *Физика плазмы*. – 2023. – Т. 49(1). – С. 1-7.
23. Trukhachev F.M., Gerasimenko N.V., Vasiliev M.M., Petrov O.F. Unidirectional transport of ions and perturbation of plasma distribution functions by ion-acoustic solitons: Numerical simulation and analytical solution// *Physics of Plasmas*. – 2023, – 30(2). – P. 022113.
24. Трухачёв Ф.М., Герасименко Н.В., Васильев М.М., Петров О.Ф. Возмущенная ионно-звуковыми солитонами функция распределения по скоростям ионов плазмы: аналитический расчет на базе КдВ-уравнения // *Физика плазмы*. – 2023. – Т. 49(10). – С. 975–981.
25. Trukhachev F.M., Gerasimenko N.V., Vasiliev M.M., Petrov O.F. Matter transport as fundamental property of acoustic solitons in plasma // *Phys. Plasmas*. – 2023. – V.30. – P.112302.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. **Государственное научное учреждение «Институт физики имени Б.И.Степанова Национальной академии наук Беларуси»**, (д.ф.-м.н., член-корреспондент НАН Беларуси Тарасенко Н.В.) – отзыв положительный, содержит 2 замечания

- Волновой перенос вещества исследован на основе уравнения Кортевега – Де Вриза (КдВ), которое является довольно универсальным математическим инструментом. Тем не менее, из содержания автореферата не понятно, ограничиваются ли полученные результаты плазменными волнами или имеют общий характер.

- В работе используются одновременно термины «коллоидная плазма» и «пылевая плазма» для описания плазмы, содержащей пылевые частицы.

2. **Акционерное общество «Государственный научный центр Российской Федерации Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований»**

(д.ф.-м.н., Трушкин Н.И.) – отзыв положительный, содержит два замечания:

- Автором рассмотрены не все типы плазменных солитонов. В частности, в поле зрения автора не попали альфвеновские солитоны и магнитозвуковые солитоны (последние также имеют акустическую природу).
- При рассмотрении механизма переноса ионов электрическим полем ионно-звуковых солитонов автор рассматривает пробный ион. Возникает вопрос о правомерности такого подхода, так как солитоны автором описываются в рамках гидродинамического подхода, в котором нет отдельных или пробных ионов.

3. Государственное научное учреждение «Институт тепло- и массообмена имени А.В.Лыкова Национальной академии наук Беларуси» (д.ф.-м.н., член-корреспондент НАН Беларуси Асташинский В.М.) – отзыв положительный, без замечаний.

4. Акционерное общество «Казахстанско-Британский технический университет» КБТУ (д.ф.-м.н., профессор Габдуллин М.Т.) – отзыв положительный, содержит одно замечание:

- В четвертой главе автор описывает плазменно-пылевую структуру, которая находится в состоянии с экстремально низким значением параметра неидеальности ($\Gamma < 1$). Физический механизм, переводящий пылевую плазму в околоидеальное состояние не раскрыт.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается следующим образом:

- д.ф.-м.н., профессор Попель Сергей Игоревич является ведущим ученым в области физики нелинейных плазменных волн и солитонов, астрофизики, физики пылевой плазмы. Область его научных интересов полностью соответствует научным интересам автора диссертации. Основные публикации Пополя С.И.:

1. Копнин С. И., Шохрин Д. В., Попель С. И. Пылевые звуковые солитоны в запыленной магнитосфере Сатурна // Физика плазмы.– 2022.– Т. 48.– № 2. – С. 163.;
2. Morozova T. I., Kopnin S. I., Popel S. I., Borisov N. D. Some aspects of modulational interaction in Earth's dusty ionosphere // Physics of Plasmas. – 2021. – V. 28(3). – P. 033703.;
3. Копнин С. И., Морозова Т. И., Попель С. И. Волновые процессы в пылевой плазме над Фобосом и Деймосом // Физика плазмы. – 2019. – V. 45.– №.9.– P. 831.

- д.ф.-м.н., г.н.с Дубинов Александр Евгеньевич является признанным специалистом в области физики плазменных волн и солитонов, физики плазмы, астрофизики и теоретической физики. Его публикации использовались автором в своей диссертационной работе. Основные публикации Дубинова А.Е.:

1. Дубинов А.Е., Сулова О.В. Возможны ли гиперзвуковые электростатические солитоны? Оценка предельных чисел Маха ионно-звуковых солитонов в теплой плазме // ЖЭТФ. – 2020. – Т. 158(5). – С. 968.;
2. Dubinov A.E. Gas-dynamic approach to the theory of non-linear ion-acoustic waves in plasma with Kaniadakis' distributed species // Advances in Space Research.– 2023.–V. 71(1). – P. 1108.;
3. Dubinov A.E., Lebedeva X.I. Ambiplasma separation into matter and antimatter by a train of baryon-acoustic solitons in the problem of the baryon asymmetry of the Universe // Chaos Solitons & Fractals. – 2021. – V. 152(2). – P. 111391.

- д.ф.-м.н., профессор Карасёв Виктор Юрьевич является ведущим учёным в области физики пылевой плазмы, плазменной диагностики, физики тлеющего разряда. Его

исследования в указанных областях соответствуют вопросам, рассматриваемым в диссертации. Основные публикации Карасёва В. Ю.:

1. Kartasheva A.A., Golubovskii Y.B., Karasev V.Y. The vibrational properties of the dust trap created in standing striation // Contributions to Plasma Physics. –2019. – V. 59.–№. 4-5. –P. e201800170.;
2. Golubovskii Y., Karasev V., Siasko A.A. About the photoemission of electrons from the surface of a spherical dust particle in gas discharge plasma // Plasma Sources Science and Technology. – 2021. –V. 30.–P. 065030.;
3. Karasev V.Yu. Dzlieva E.S., D'yachkov L.G., Novikov L.A., Pavlov S.I. Dusty Plasma in Inhomogeneous Magnetic Fields in a Stratified Glow Discharge // Molecules. – 2021. – .26(13). – P.3788.

- Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН) является профильной организацией, в том числе специализирующейся на проведении исследований в области физики плазмы, термодинамики, строения вещества и структуры твёрдых тел. При этом особое внимание уделяется изучению процессов, протекающих в пылевой плазме. Все эти направления соответствуют тематике диссертации. Основные публикации:

1. Salnikov M., Sukhinin G. Influence of the Dust Particle Shape on the Wake Formation in a Complex Plasma // IEEE Transactions on Plasma Science. – 2021. – V. 49. – №. 9. – С. 2583-2588;
2. Salnikov M.V., Sukhinin G.I., Spatial velocity distribution around an endless chain of spherical dust particles // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – V. 1677. –№ 1. – С. 012155.;
3. Salnikov M.V., Fedoseev A.V., Sukhinin G.I. Plasma parameters around a chain-like structure of dust particles in an external electric field. // Molecules. – 2021. –V. 26. –№. 13. – С. 3846.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

– Разработан аналитический метод исследования нелинейных пыле-акустических волн в коллоидной плазме, учитывающий самосогласованный заряд пыли. Главное его преимущество заключается в использовании только аналитических функций.

– Построена теоретическая модель формирования ультрамедленных пыле-акустических солитонов в коллоидной плазме. Определены области плазменных параметров при которых могут существовать пыле-акустические солитоны со скоростями близкими к нулю (псевдо стоячие солитоны). Установлено, что такие солитоны способны вызывать сильное возмущение пылевой концентрации и представлять интерес с прикладной точки зрения (в частности, в новых методах плазменной диагностики).

– Разработан простой бесконтактный метод оценки радиуса Дебая в коллоидной плазме, содержащей нелинейные пыле-акустические волны и солитонами, основанный только на анализе изображений пылевых облаков. Преимущество нового метода состоит в отсутствии необходимости использования зондов, спектрометрии и др. Показано, что солитоны и сильно нелинейные волны в некотором смысле можно рассматривать как универсальные маркеры для оценки дебаевского радиуса в пылевой плазме.

– Детально исследовано свойство плазменных солитонов акустического типа, заключающееся в однонаправленном переносе (смещении) заряженных частиц. С использованием КдВ уравнения найдена явная аппроксимация величины (дистанции) переноса вещества как функция амплитуды солитона.

– Открыт новый механизм возбуждения электрических токов в плазме, который

связан с односторонним перемещением заряженных частиц солитонами акустического типа. Детально исследованы токи, индуцируемые солитонами. В частности, показано, что такие токи имеют импульсный характер с ненулевой постоянной составляющей.

– Исследовано влияние ионно-звуковых солитонов на функции распределения по скоростям для ионов в приближении холодной плазмы. Получена аналитическая формула для расчета возмущенных функций распределения.

– Проанализированы микродинамические и термодинамические свойства диссипативных пыле-акустических солитонов. Определена роль диссипации в упорядочивании траекторий заряженных частиц. Построена модель для расчета величины тепловыделения, связанного с движением диссипативных пыле-акустических солитонов. Результаты будут полезны при анализе энергетического баланса автоволновых процессов в плазме.

– Теоретически предсказан новый колебательный процесс, возбуждаемый диссипативными солитонами в пылевой плазме. Механизм колебательного процесса связан с электростатическим взаимодействием пылевых заряженных частиц с передним фронтом диссипативного пыле-акустического солитона. Предложена концепция упругого и неупругого рассеяния заряженных пылевых частиц передним фронтом пыле-акустических солитонов. Результаты могут быть использованы для развития методов плазменной диагностики.

Теоретическая значимость исследований заключается в развитии физики плазменных волн и диссипативных структур и обоснована тем, что:

– Детально исследовано свойство плазменных солитонов акустического типа, которое заключается в одностороннем переносе (смещении) заряженных частиц, причем этим свойством нельзя пренебрегать при малых амплитудах волн (в отличие от, хорошо известного, явления дрейфа Стокса, описывающего дрейф вещества под действием периодических волн конечной амплитуды). Раскрыт механизм явления, который является предельным случаем Стоксового механизма переноса.

– Детально исследованы электрические плазменные токи, индуцируемые солитонами акустического типа. Показано, что солитонные токи имеют импульсную структуру с ненулевой постоянной составляющей. Такие токи могут иметь значимое влияние на динамику космической плазмы, часто населенную большими группами последовательно движущихся солитонов.

– В рамках модели холодной плазмы рассчитаны, возмущенные солитонами акустического типа, функции распределения по скоростям и энергиям для заряженных частиц плазмы.

– Предложен новый метод анализа пыле-акустических солитонов, учитывающий самосогласованный заряд пылевых частиц.

– Предсказан новый тип колебаний, возникающих при движении пыле-акустических солитонов в диссипативной среде.

– Раскрыты новые термодинамические свойства плазмы, содержащей диссипативные пыле-акустические солитоны.

Значение полученных соискателем результатов **исследования для практики подтверждается** тем, что:

– Разработанный бесконтактный метод определения радиуса Дебая в пылевой плазме может сравнительно просто применяться и уже применялся для определения плазменных параметров в криогенных условиях ($T_{He}=2K$) при дефиците стандартных диагностических методов. В частности, определен радиус Дебая и температура ионов, которая, как оказалось, на порядок превосходила температуру ионов буферного газа.

– В результате анализа солитонных токов разработаны требования к

пространственному и временному разрешению измерительных приборов (в том числе космических) для измерения токовых процессов в космической плазме, населенной уединенными волнами различной природы.

– Результаты анализа процессов рассеяния заряженных частиц солитонами могут применяться и уже применялись для оценки плазменных параметров, таких как электрические поля и коэффициенты вязкости в пылевой плазме.

Оценка достоверности результатов связана с тем, что проведенные исследования основаны на проверенных аналитических методах и численных алгоритмах. В частности, использовались гидродинамические методы, метод псевдопотенциала Сагдеева, уравнение Кортевега - Де Вриза, одночастичное приближение, метод линеаризации, Эйлера и Лагранжево описание движения, эргодическая гипотеза, алгоритм Рунге Кутта для численного интегрирования обычных дифференциальных уравнений. Кроме того, исследования опираются на многолетний научный опыт и традиции, что отражено в списке использованных литературных источников. Часть результатов удалось проверить на опыте.

Личный вклад соискателя является определяющим и состоит в постановке задач, разработке новых теоретических методов и теоретических моделей для анализа свойств нелинейных волн и солитонов. Значительная часть этой работы была проделана соискателем самостоятельно или при определяющей его роли.

Апробация результатов исследования проведена на 30-ти российских и международных конференциях и симпозиумах, а также на научных семинарах. Основные публикации по выполненной работе также подготовлены при определяющем участии диссертанта. В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

Соискатель Трухачёв Фёдор Михайлович ответил на все заданные ему в ходе заседания вопросы, согласился с замечаниями и привел собственную аргументацию.

На заседании от 05.06.2024 г. диссертационный совет принял решение за разработку теоретических положений, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение, присудить Трухачёву Фёдору Михайловичу ученую степень доктора физико-математических наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы.

При проведении тайного голосования Диссертационный совет 24.1.193.01 (Д 002.110.02) в количестве 23 человек, из них очно: 8 докторов наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы и 5 докторов наук по специальности 1.3.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника, дистанционно: 2 доктора наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы и 5 докторов наук по специальности 1.3.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника, участвовавших в заседании, из 31 человека, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 23, против 0, недействительных бюллетеней - 0.

Председатель диссертационного совета 24.1.193.01 (Д 002.110.02)
д.ф.-м.н., профессор, академик РАН



Петров О. Ф.

Ученый секретарь диссертационного совета 24.1.193.01 (Д 002.110.02)
к.ф.-м.н.



Тимофеев А.В.
05.06.2024г.