

**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 октября 2022 г. (протокол № 23)

Защита диссертации **Николаева Владислава Сергеевича**

на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

**«Динамические свойства и фазовые переходы в неоднородных
плазменно-пылевых системах»**

Специальность 1.3.9 – физика плазмы

Москва – 2022

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)
Протокол № 23 от 5 октября 2022 г.

Диссертационный совет 24.1.193.01 (Д 002.110.02) утвержден Приказом Министерства образования и науки РФ от 26.01.2021 г. № 86/нк в составе 31 человека. На заседании присутствуют 22 человека, из них 11 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 – зам. председателя диссертационного совета 24.1.193.01
д.ф.-м.н., профессор Храпак А.Г.

Ученый секретарь – ученый секретарь диссертационного совета 24.1.193.01
к.ф.-м.н. Тимофеев А.В.

1. Петров О.Ф.	академик	1.3.9 Подключен
2. Андреев Н.Е.	д.ф. - м.н., профессор	1.3.9 Отсутствует
3. Храпак А.Г.	д.ф. – м.н., профессор	1.3.14 Присутствует
4. Тимофеев А.В.	к.ф.-м.н.	1.3.9 Присутствует
5. Агранат М.Б.	д.ф. – м.н., с.н.с.	1.3.14 Отсутствует
6. Амиров Р.Х.	д.ф. - м.н., с.н.с.	1.3.9 Подключен
7. Баженова Т.В.	д.ф. – м.н., профессор	1.3.9 Отсутствует
8. Вараксин А.Ю.	чл.-корр. РАН, профессор	1.3.14 Присутствует
9. Васильев М.М.	д.ф. - м.н.	1.3.9 Присутствует
10. Васильев М.Н.	д.т.н., профессор	1.3.14 Подключен
11. Василяк Л.М.	д.ф. – м.н., профессор	1.3.9 Присутствует
12. Воробьев В.С.	д.ф. – м.н., профессор	1.3.9 Отсутствует
13. Гавриков А.В.	д.ф. – м.н., доцент	1.3.9 Подключен
14. Голуб В.В.	д.ф. – м.н., профессор	1.3.14 Присутствует
15. Грязнов В.К.	д.ф. – м.н.	1.3.14 Подключен
16. Дьячков Л.Г.	д.ф. – м.н.	1.3.9 Присутствует
17. Еремин А.В.	д.ф. – м.н., профессор	1.3.14 Отсутствует
18. Зейгарник Ю.А.	д.т.н., с.н.с.	1.3.14 Присутствует
19. Зеленер Б.Б.	д.ф. – м.н.	1.3.9 Подключен
20. Иосилевский И.Л.	д.ф. – м.н., профессор	1.3.9 Подключен
21. Киверин А.Д.	д.ф. – м.н.	1.3.14 Присутствует
22. Кириллин А.В.	д.ф. – м.н.	1.3.14 Подключен
23. Лагарьков А.Н.	академик	1.3.9 Отсутствует
24. Левашов П.Р.	к.ф.-м.н.	1.3.14 Присутствует
25. Ломоносов И.В.	д.ф. – м.н., профессор	1.3.14 Отсутствует
26. Медин С.А.	д.т.н., профессор	1.3.14 Подключен
27. Норман Г.Э.	д.ф. – м.н., профессор	1.3.9 Присутствует
28. Пикуз С.А.	к.ф.-м.н.	1.3.9 Отсутствует
29. Савватимский А.И.	д.т.н.	1.3.14 Подключен
30. Филлиппов А.В.	д.ф. – м.н., профессор	1.3.9 Подключен
31. Яньков Г.Г.	д.т.н., с.н.с.	1.3.14 Отсутствует

ПОВЕСТКА ДНЯ

На повестке дня защита диссертации младшего научного сотрудника лаборатории 14.1 – теории неидеальной плазмы Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН) **Николаева Владислава Сергеевича** на тему «Динамические свойства и фазовые переходы в неоднородных плазменно-пылевых системах». Диссертация впервые представлена на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы. Диссертация выполнена в лаборатории 14.1 – теории неидеальной плазмы ОИВТ РАН (125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2, jiht.ru).

Научный руководитель:

Тимофеев Алексей Владимирович – к.ф.-м.н., заместитель директора по научной работе ОИВТ РАН, заведующий лабораторией 14.1 – теории неидеальной плазмы Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук, г. Москва.

Официальные оппоненты:

Сухинин Геннадий Иванович - гражданин РФ, д.ф.-м.н., профессор кафедры Физики неравновесных процессов Физического факультета Новосибирского государственного университета, главный научный сотрудник Лаборатории разреженных газов 4.1 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского Отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН; Россия, 630090, Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 1).

Дубинский Андрей Юльевич – гражданин РФ, к.ф.-м.н., научный сотрудник лаборатории плазменно-пылевых процессов в космических объектах Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН; Россия, 117997, г. Москва, ул. Профсоюзная 84/32).

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» (г. Санкт-Петербург) (Россия, 199034, Санкт-Петербург, Университетская набережная, д. 7–9).

На заседании присутствуют официальные оппоненты д.ф.-м.н., профессор Сухинин Г.И. (подключен) и к.ф.-м.н. Дубинский А.Ю., научный руководитель Николаева В.С. к.ф.-м.н. Тимофеев А.В.

СТЕНОГРАММА

Председатель

Мы сегодня заслушаем Владислава Сергеевича Николаева с диссертацией на тему «Динамические свойства и фазовые переходы в неоднородных плазменно-пылевых системах». Я как обычно хочу предоставить слово Алексею Владимировичу с тем, чтобы он огласил все материалы, представленные соискателем.

Ученый секретарь

(Зачитывает данные о соискателе по материалам личного дела и сообщает о соответствии представленных документов требованиям ВАК Министерства образования и науки РФ).

Председатель

Владислав Сергеевич, Вам предоставляется слово для изложения своей диссертации.

Николаев В.С.

Выступает с докладом по диссертационной работе (выступление не стенографируется, доклад Князева Д.В. прилагается).

Председатель

Какие вопросы будет? Пожалуйста, Михаил Михайлович.

Васильев М.М.

Спасибо, у меня будет вопрос по поводу слайда 22. Как можно говорить о границе раздела фаз в такой системе, если Вы изначально на предыдущем слайде показываете, что кинетическая энергия частиц в радиальном распределении определяется и зависит от параболической ловушки? То есть никакой границы по ловушке у Вас нету, а Вы говорите, что явно видите границу раздела фаз. И вообще корректно ли говорить о фазовом переходе в пылевой системе, которая вдали от термодинамического равновесия находится?

Николаев В.С.

Здесь показана система, которая в состоянии равновесия находится. Вот эти результаты, которые представлены здесь, получены для системы с потенциалом взаимодействия, в котором участвует экранированный кулоновский потенциал и параболическая ловушка. Здесь нет ни термостата, тут даже термостат Ланжевена отключен, то есть это микростатический ансамбль, здесь нет невзаимных эффектов, в частности, эффекта ионного фокуса, то есть это классическая система зарядов в ловушке. В этой системе, что показана на слайде, распределение температуры по системе в радиальном направлении пространственно однородное, и в этом случае здесь корректно говорить, что эта граница не является резкой, на кинетическом частичном уровне тут нельзя провести строгую границу, однако при этом граница имеет конечную толщину, периферийная область расплавлена, а центральная область находится в упорядоченном состоянии. Система равновесна эта.

Васильев М.М.

Но по-моему Вы сравниваете ее с реальным экспериментом, на предыдущем слайде же реальная система, вы же ее описываете.

Николаев В.С.

Эта система без плавления, результаты, которые касаются плавления, выделены в отдельный раздел, а вот этот результат – это структуры упорядоченные. Это мы взяли из эксперимента упорядоченную систему наших коллег, в которой они померяли радиальные профили в упорядоченном состоянии без плавления.

Васильев М.М.

Хорошо. Второй вопрос: 25 слайд, Вы там делаете утверждение, что температура частиц в точности равна температуре окружающего газа, но такая ситуация не реализуется в экспериментах вообще никогда. У Вас всегда температура частицы оторвана от температуры газа, причем на порядки.

Николаев В.С.

Да, согласен, это можно записать в оговорку, то есть это замечание принято. В рамках моделирования температура частиц на периферии системы соответствует температуре нашего модельного термостата, которую мы задали равной 300 К. В эксперименте этот отрыв действительно наблюдается, моделируется он разными способами, можно, к примеру, менять температуру ланжевеноского термостата самого, ставить ее 1500 или 2500 К, как мы видим в эксперименте. Здесь правильнее было сказать, что кинетическая энергия частиц на периферии системы соответствует температуре нашего модельного термостата.

Василяк Л.М.

Скажите, пожалуйста, может, я чего-то не понял, но у Вас прозвучало, что критерий Линдемманна – он не относительный, а Ваш критерий относительный, хотя вообще-то критерий Линдемманна тоже относительный. Можно ли пояснить, что Вы имели в виду, когда говорили это?

Николаев В.С.

Спасибо за вопрос, речь идет о классическом определении параметра Линдемманна, которое заключается в расчете амплитуды колебаний частиц относительно их положений равновесия. Эта характеристика, как известно, показано во многих работах, и в том числе наших ивановских коллег, в двумерном случае принципиально расходится, логарифмическая расходимость по числу частиц в системе. Речь идет об амплитуде тепловых колебаний, посчитанной относительно их усредненных положений равновесия. Можно модифицировать параметр Линдемманна, эти модификации предлагались еще чуть ли не с конца 80-х годов прошлого века, в которых действительно форма, как Вы отмечаете, была похожа на то, что здесь написано. В ряде работ этот параметр даже называют параметром Линдемманна. Скажем, работа, в которой мы его впервые нашли для апробации, это работа Бонитца, Мельцера, они его вообще называют параметром Линдемманна. Тут стоит конкретнее пояснить терминологически, что этот параметр совпадает с некоторыми модификациями параметра Линдемманна.

Василяк Л.М.

Спасибо, еще один вопрос по поводу быстрого плавления в центре. Казалось бы, для параболической ловушки, где поля сдерживающие близки к нулю, силы тоже к нулю, любое отклонение от равновесия должно приводить к тому, что частица далеко уйдет от среднего значения, казалось бы, физически так и должно быть, что плавление начнется в центре. Или это с чем-то другим связано?

Николаев В.С.

Если говорить о модели, то вот этот результат получен независимо Хиру Тоцуджи, Борисом Александровичем Клуновым, в равновесной модели плавление начинается там, где плотность системы меньше. На периферии система разрежена, плавится в первую

очередь там, где плотность меньше, частицам легче двигаться, температура у всех одинаковая, поэтому сначала периферия. А здесь ключевой вопрос сводится к условию запуска неустойчивости связанных мод, этот тип неустойчивости – вот в автореферате было критическое замечание, что не объясняется, что это такое – хорошо знаком тем, кто занимается физикой плазменно-пылевого монослоя. Условие для его запуска напрямую зависит от плотности системы. Она плотнее в центре, и за счет этого только для тех частиц, которые находятся в центре она запускается, а для тех, что на периферии, она просто не запустилась, и поэтому они не расплавились.

Василяк Л.М.

Спасибо.

Дьячков Л.Г.

Вот на этой картинке область у Вас центральная и периферийная. Каким математическим условием задается эта граница?

Николаев В.С.

Моделируется структура в целом или граница раздела фаз?

Дьячков Л.Г.

Нет, граница раздела, как вы ее определяете чисто математически, каким условием?

Николаев В.С.

Математически мы используем тот критерий, который самостоятельно и адаптировали. Вернусь на несколько слайдов назад. Начали мы с системы, которая уже рассмотрена, Тоцуджи, Клумовым, в которой известно уже, достоверно установлено: волна плавления идет с края, центр упорядоченный, есть граница, надо ее охарактеризовать. Мы апробировали критерий локальный, с использованием вот этого параметра, сравнили его с несколькими критериями, в частности, с диффузионным критерием, в трехмерном случае - с параметром Линдемманна, там, где это доступно. Убедились, что вот это значение – 0.1 – с хорошей точностью соответствует критическому.

Дьячков Л.Г.

0.1 – это от чего одна десятая?

Николаев В.С.

Этот параметр безразмерный. Он определяет флуктуацию межчастичного расстояния, ну то есть скажем так, колеблется межчастичное расстояние на 10%. В Линдемманне мы знаем, как смещается, здесь колеблется расстояния на 10%. И вот когда расстояние колеблется на 10%, мы проводим порог: выше порога – расплавилось, ниже – значит, упорядоченно.

Дьячков Л.Г.

Понятно. И второй вопрос примерно на ту же тему: один из предыдущих слайдов. Вот здесь. Граница вот эта строгая, как я понимаю, область, внутри кристаллическая структура, а снаружи... Вот здесь как ширина этой области как определяется, исходя из каких соображений?

Николаев В.С.

Этот вопрос подробно в рамках диссертации не рассматривался, то есть из того что

мы видим, рассматривая эту систему на динамическом уровне, визуально ее анализируя, мы видим, что ширина этого слоя порядка атомного слоя, два межчастичных расстояния, три межчастичных расстояния, то есть это не очень широкий слой, его существования связано с наличием переходной зоны.

Дьячков Л.Г.

На словах здесь все понятно, а вот чисто опять же математически каков критерий внутренней границы, внешней границы.

Председатель

Здесь критерия вот этой внешней границы... Вот этот оранжевый круг проведен иллюстративно. Мы точно знаем, где уже расплавлено, точно знаем, где еще упорядочено. А вот эту переходную зону...

Дьячков Л.Г.

То есть вот вы по поводу первого вопроса объяснили, что эта область где-то одна десятая, а здесь это примерно в районе одной десятой от нижней до верхней границы. Примерно так, да? Спасибо.

Вараксин А.Ю.

Владислав Сергеевич, 24 слайд можно? Хотелось бы понять, вот есть кулоновские частицы, отталкиваются, есть силы со стороны ловушки, которые их сближают, потом у Вас на этом слайде появились ланжевенские слагаемые, это вот скорость частицы, это масса, то есть помимо тех силовых факторов, здесь вы рассматриваете еще вот эти силовые факторы. Как-то можно пояснить, играют ли они какую-то роль по сравнению с теми силовыми факторами? Это явно идет усложнение, скорость частицы относительно плазмы разрядного газа, вот эта случайная сила, поясните просто, по величине чтобы нам представить.

Николаев В.С.

Это как раз вопрос, который сразу метит в объяснение того, что такое неустойчивость связанных мод и как она возникает. И это очень хороший вопрос, чтобы разделить вот эти результаты и те, что в следующем разделе. Вот эти результаты... изначально была задумка написать работу, и эта работа написана, для заряженных частиц в целом, экранированный кулоновский, кулоновский, ловушка, никакого термостата, вот такая вот аналитическая работа. Если мы переходим к плазменно-пылевой системе, термостат добавлять обязательно, это классический броуновский термостат, то есть это ланжевенская динамика, это коэффициент вязкого трения частиц в окружающем разрядном газе, вот эти члены моделируют случайные столкновения, то есть это фактически броуновская частица. Для этой броуновской частицы наиболее важным параметром, контролирующим параметром является коэффициент вязкого трения, он является ключевым, потому что является тем самым параметром, который контролирует развитие неустойчивости. Предположим, эти слагаемые вообще я выключу. Не будет вообще системы никакой. Под действием этих невзаимных эффектов она расплавится моментально, будет каша, газ. Именно этот термостат демпфирует экспоненциальное развитие неустойчивости, и только благодаря этим слагаемым мы можем ловить режим, когда эта соответствующая экспериментальной система в таком виде сохраняется. Эти слагаемые в виде двух строчек играют ключевую роль, без них не будет неустойчивости.

Вараксин А.Ю.

Возвращаясь к скорости, скорость – это подразумевается направленное движение или какая-то флуктуация? Частица же не уходит куда-то? Или доходит до какого-то состояния – и дальше этот член исчезает?

Николаев В.С.

Нет, это ближе к тому, что вы называете флуктуациями. Представим себе частицу броуновскую, которая колеблется, вот это абсолютное значение скорости относительно инерциальной системы отсчета. Они не берутся относительно потока ионов, это абсолютные значения ее скорости, соответствующие тепловому движению.

Председатель

Есть один вопрос дистанционный, от Александра Ивановича Савватимского. Пожалуйста, Александр Иванович. Вам нужно включить микрофон.

Филиппов А.В.

Александр Иванович не сможет задать вопрос, потому что он подключился без микрофона.

Киверин А.Д.

Я хотел у Вас уточнить, вот Вы в самом конце, в заключении, сказали о согласии с экспериментом, в явном виде я этого не увидел. Есть же данные о распространении фронтов плавления, то, что вы говорили, из центра к периферии, и это одна часть вопроса. А вторая часть – Вы предложили свой метод поиска, критерий распределения границ плавления, то есть получается, что экспериментальные данные с этим критерием тоже нужно пересчитать, да?

Николаев В.С.

Я не знаю, насколько в рамках защиты диссертации корректно говорить о тех работах, которые не вошли. То согласие, которое показано, касается динамических свойств. Фронта плавления на тот момент опубликовано экспериментаторами не было. Уже после подачи диссертации в диссовет такие данные появились, и с экспериментаторами у нас появилась совместная публикация, в которой и параметр флуктуации межчастичного расстояния, и сам фронт плавления, его движение, мы постарались описать. И согласие получено.

Киверин А.Д.

Были работы, Вы даже ссылаетесь, у Крючкова была экспериментальная по распространению такого фронта.

Николаев В.С.

Да, у Крючкова и Юрченко была замечательная работа, мы на нее ориентировались с точки зрения экспериментального подтверждения. Они написали исчерпывающую работу, в которой они смотрят на аналогию с распространением фронта пламени вот в таком монослое. Запускается неустойчивость связанных мод, монослой из центра начинает плавиться, и это захватывает весь монослой. Они не пытаются ловить промежуточное состояние, поэтому эту публикацию мы упоминаем, но доступа к экспериментальным данным у нас нет.

Киверин А.Д.

То есть я правильно понимаю, что Вам нужен доступ к экспериментальным данным, чтобы их обработать.

Николаев В.С.

Да.

Киверин А.Д.

Второй вопрос немножко в стороне. У Вас тут задавалась ловушка, в которой Вы получали этот эффект. Возможно ли подобрать потенциал, ну допустим, если нам нужно создать направленное движение таких частиц, с помощью Ваших подходов, Ваших методик?

Николаев В.С.

Я думаю, что это безусловно возможно. Вся диссертация основана на модели вот этих экранированных зарядов в ловушке. Вот в такой модели создать направленное движение невозможно. Я думаю, правильно было бы на Ваш вопрос ответить так, что модель нужно расширять. Это возможно, но в рамках этих «трех слагаемых» - нет, нужно добавлять слагаемые.

Председатель

Еще один вопрос дистанционный от Геннадия Ивановича Сухинина. Пожалуйста.

Сухинин Г.И.

Я хотел задать вопрос по поводу 25 слайда. Из текста не очень понятно, рисунок, где изображена зависимость энергии частицы от времени. Как Вы можете объяснить, что это не счетная неустойчивость, что это физическое явление, учитывая, что зависимость от времени не очень регулярная, с выбросами?

Николаев В.С.

Геннадий Иванович, мы определяем тот факт, что это не счетный тип неустойчивости, за счет того, что мы варьировали параметры численной схемы, в том числе и шаг интегрирования уравнений движения частиц, мы не наблюдали изменения амплитуды кинетической энергии и частоты моды, на которой колеблется энергия. Более того, частота этой моды хорошо соответствует частоте гибридной моды, которая из теории неустойчивости связанных мод получена, и в 2000 году еще была для одномерной цепочки получена Ивлевым и Морфиллом. Мы наблюдаем колебания на той же частоте, которые возникают при изменении коэффициента вязкого трения ланжевеновского термостата, что соответствует всем модельным работам по неустойчивости связанных мод. Ее возникновение в системе здесь налицо.

Сухинин Г.И.

Все-таки нерваность, негладкость амплитуды о чем-то говорит?

Николаев В.С.

Да, она говорит о том, что неустойчивость еще не вышла на насыщение. Это такой начальный этап развития неустойчивости, когда она пытается экспоненциально взлететь, но за счет величины коэффициента вязкого трения в ланжевеновском термостате она не может, и возникают еще дополнительные колебания самой величины кинетической энергии частиц. Она принципиально не насыщена, если бы она насытилась, вся система бы расплавилась.

Сухинин Г.И.

Спасибо.

Левашов П.Р.

Владислав Сергеевич, модель Эйнштейна состоит в том, что мы рассматриваем осцилляторы при термодинамическом равновесии. А у Вас система во внешнем поле находится, во-первых, во-вторых, равновесия термодинамического вроде как и нет там, где Вы строите аналитическую модель. Почему правомерно говорить о частоте Эйнштейна и почему модель работает?

Николаев В.С.

Что касается термодинамического равновесия в такой системе, мы проводили несколько проверок, в том числе по результатам численного моделирования. Как распределены скорости частиц, как ведет себя кинетическая энергия частиц в такой системе. Мы убедились, что распределение частиц на всех оболочках с хорошей точностью соответствует максвелловскому при одной и той же температуре. Дополнительно, кроме того, мы проводили и расчеты с использованием термостата, когда тепловое равновесие установлено точно, и результаты никак не отличались. В поддержку этой аналитической модели, самый краткий вариант ответа, мы проводили дополнительные исследования с использованием компьютерных численных методов, чтобы ограничения снять. Модель Эйнштейна в данном случае применима весьма приблизительно, этот факт скрывается в коэффициенте в формуле, который мы восстанавливаем для каждой структуры отдельно. Границы применимости аналитических соотношений в тексте диссертации обозначены, они, естественно, не носят общего характера. Срабатывают они потому, что система близка к равновесному состоянию.

Председатель

Есть ли еще вопросы? Если нет, то тогда слово предоставляется научному руководителю Алексею Владимировичу Тимофееву.

Тимофеев А.В.

(Зачитывает отзыв о соискателе. Выступление не стенографируется. Отзыв научного руководителя приложен).

Председатель

Спасибо, Алексей Владимирович. Теперь я хочу предоставить слово Алексею Владимировичу, но уже как ученому секретарю нашего совета, для оглашения отзывов, полученных на диссертацию.

Ученый секретарь

Спасибо. Заключение организации, где была выполнена диссертация, ОИВТ РАН, положительное. Диссертация рекомендована к защите. Зачитывать полностью, если позволите, не буду.

Дальше отзыв ведущей организации. Отзыв составлен профессором кафедры общей физики Физического факультета СПбГУ Виктором Юрьевичем Карасевым, заверен заведующим кафедры общей физики Физического факультета СПбГУ доктором физико-математических наук профессором Игорем Чеславовичем Машеком и утвержден проректором по научной работе СПбГУ Сергеем Владимировичем Мякушевым. Отзыв положительный, если позволите, я сразу перейду к замечаниям.

К любой поисковой научно-квалификационной работе всегда имеются замечания. Главные замечания по работе Николаева В.С. следующие:

Полученные в работе результаты относятся к системе сильно экранированных зарядов равной величины в параболической удерживающей ловушке. Оба предположения – о равной величине зарядов и параболическом профиле ловушки – не являются общими для условий плазменно-пылевых экспериментов. В общем случае заряд пылевых частиц зависит от положения в структуре вследствие неоднородного распределения плотности заряженной компоненты плазмы и влияния самих пылевых частиц на заряд друг друга. Этот эффект также может повлиять на степень неоднородности пылевой подсистемы.

В качестве пожелания хотелось бы порекомендовать автору уделить больше внимания развитию аналитической модели при различных степенях экранировки потенциала взаимодействия.

Приведенные замечания вызывают конкретные вопросы:

1. В монослое с радиальной переменной плотностью частиц невозможно

разместить идеальную решетку, например, гексагональную, как рассмотрено у автора. Какого характера эффект можно ожидать исходя из предложенной модели, если периферийная область пылевой структуры будет иметь другой порядок расположения частиц (если сосуществуют треугольный и квадратный виды упаковки, соответственно)?

2. Как можно было бы в лабораторном эксперименте проверить, вероятно, самый интересный результат диссертации – изменения порядка в классической системе и в системе с невзаимностью частиц (рис. 5.5 диссертации)? Полезно сформулировать требования: число частиц в монослое, размер/заряд частиц, плотность собственно плазмы и другие параметры.

Отмеченные выше недостатки и возникшие вопросы не снижают общей высокой оценки работы. Считает, что заслуживает Владислав Сергеевич присуждения степени.

Далее я перейду к отзывам на автореферат. **Получено 3 отзыва, которые мы можем учесть, и 2 отзыва, которые мы не можем учесть (оригиналы документов не успели дойти по почте ко дню защиты, но я их зачитаю, чтобы ознакомить членов совета с мнением).** Для сведения диссертационного совета я озвучу их наличие и характеристики.

(Первый отзыв). Получен от доктора физико-математических наук, профессора, заведующего лаборатории плазменно-пылевых процессов в космических объектах Института космических исследований РАН Сергея Игоревича Попеля. Отзыв положительный, замечаний нет.

(Второй отзыв). Получен от старшего научного сотрудника отдела физики неидеальной плазмы Центра теоретической физики и вычислительной математики АО «ТРИНИТИ» Госкорпорации Росатом кандидата технических наук Виктора Витальевича Решетняка. Отзыв положительный, есть замечания:

1. В автореферате несколько раз упоминается термин «неустойчивость связанных мод», который не является общеизвестным. Из текста автореферата не ясно, что имеется в виду.
2. В автореферате имеется опечатка: в формуле (1) на стр. 9 в качестве аргумента потенциала указана переменная r вместо Δ .

Замечания не снижают общую положительную оценку работы.

(Третий отзыв). Перехожу к следующему отзыву. Он получен от главного научного сотрудника доктора физико-математических наук профессора Института общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук Александра Михайловича Игнатова. Отзыв положительный, есть недостаток:

1. Одним из основных недостатков работы является то, что в ней не рассмотрен отдельно вопрос влияния числа частиц на полученные результаты. Этот вопрос актуален как для понимания корректности выведенных аналитических соотношений, так и для обработки экспериментальных данных. Безусловно, в диссертации представлены убедительные результаты сравнения аналитических соотношений и численных расчетов, однако рассмотрение влияния числа частиц могло бы помочь сократить число оставшихся в модели свободных параметров.

Отмеченный недостаток никаким образом не влияет на высокий уровень и общую значимость диссертационной работы. Отзыв положительный.

Это те отзывы, которые мы можем учесть. И еще пришло два отзыва. Один отзыв оставил кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной физики и моделирования физических процессов Казанского федерального университета Файрушин Ильназ Изаилович. Отзыв положительный. Есть три вопроса-замечания:

1. На странице 4 во втором пункте раздела «Цели и задачи диссертационной работы» говорится о спектральных и динамических свойствах системы. Чем они отличаются друг от друга?

2. Здесь же что понимается под температурой?
3. В работе исследована система лишь при двух значениях параметра экранировки. Как изменения данного параметра в широком диапазоне может влиять на исследуемые характеристики системы и структурные переходы?

Еще один пришел от почетного профессора Абхиджита Сена из Института Исследований Плазмы, Индия. Отзыв положительный, замечаний нет, считает, что полностью заслуживает присуждения PhD степени, в переводе на наш интерпретируем как можем. На этом отзывы заканчиваются.

Председатель

Почему нет печатных экземпляров? Проблемы с почтой?

Ученый секретарь

Да, проблемы с доставкой.

Председатель

Спасибо. Владислав Сергеевич, Вам есть возможность ответить на вопросы, поставленные в отзывах.

Николаев В.С.

Сначала хотелось бы начать с редакционных вопросов, которые касаются замечания Виктора Витальевича Решетняка. Да, это проверили, это замечание принято, опечатка в формуле в автореферате есть.

Ильназ Изаилович Файрушин, спектральные и динамические свойства, действительно, это термин общий, хотелось выделить, что спектральные свойства отдельно рассматривались, замечание принято. Под температурой имеется в виду средняя кинетическая энергия частиц. Там рассматривается равновесная система без невзаимных эффектов.

Далее хотелось бы перейти к вопросам по физическому существу. Это вопрос Виктора Юрьевича Карасева из СПбГУ касательно предположения о постоянстве заряда. Такое предположение действительно сделано, в рамках этого предположения получены все результаты в данной работе. Обоснованием этого, с одной стороны, является выбранное первое приближение к моделированию систем, а во-вторых, ряд работ группы Леонида Михайловича Василяка, Геннадия Ивановича Сухинина, в которых показано, что в области существования пылевой структуры радиальные профили плотности заряженной компоненты плазмы сглаживаются по сравнению с классическим бесселевым профилем, и расчеты по тому, насколько сильно меняется заряд частицы по пылевой структуре при характерных параметрах, показывает, что изменение заряда происходит не на порядки, а на несколько процентов, порядка десяти процентов, то есть первое приближение, которое выбрано, может использоваться как хорошее.

По поводу невозможности создать идеальную гексагональную решетку в монослое: это вопрос очень меткий, разобран он в нескольких работах по структурным свойствам. Действительно, упаковать идеальную решетку в структуре с цилиндрической симметрией невозможно, поэтому в основном состоянии этой системы при нулевой температуре на стыке между центром и периферией существует 6 дефектов, каждый дефект поворачивает решетку на 60 градусов, 60 на 6 равно 360, и мы получаем полный круг. С учетом конечной температуры системы дефекты могут возникать, однако на характер полученных результатов напрямую это не влияет, потому что неоднородность системы никуда не девается. Она связана с действием конфайнмента. По этой причине результаты переносятся и на возможные экспериментальные реализации плазменно-пылевого монослоя.

Председатель

Спасибо. Теперь я хотел бы предоставить слово Сухину Геннадию Ивановичу из Института теплофизики Сибирского отделения РАН, оппоненту диссертации.

Сухинин Г.И.

Добрый день, уважаемые коллеги. Я надеюсь, что мой голос из Новосибирска будет услышан на улице Ижорской в Москве. Мы сегодня прослушали замечательный доклад, замечательную диссертацию, диссертационную работу Николаева Владислава Сергеевича.

(Зачитывает отзыв о соискателе. Выступление не стенографируется. Отзыв оппонента Сухинина Г.И. на диссертацию Николаева В.С. приложен).

К диссертации Николаева В.С. есть ряд вопросов, ряд замечаний:

1. В названии диссертационной работы и в ее тексте не совсем корректно используется термин «фазовые переходы». В общем случае этот термин применяется к системам в термодинамическом пределе. Автором же рассматриваются пылевые плазменные системы, состоящие из достаточно малого числа частиц, которые, конечно, являются открытыми нелинейными диссипативными системами, в которых возможно формирование упорядоченных структур и могут происходить переходы от одной структуры к другой. Поэтому имеет смысл говорить о переходах между различными стационарными структурами системы, а не о «фазовых переходах».
2. Рассматриваемые в диссертации задачи являются многопараметрическими. Большое влияние на свойства пылевых структур оказывает окружающая плазма, в том числе распределения температуры и плотности заряженных компонент плазмы, величины потока ионов и локального электрического поля. Допускает ли предложенный автором подход учет пространственного распределения параметров плазмы в области существования пылевой структуры? Как такой учет повлияет на характер полученных результатов?
3. Работа посвящена учету влияния конфайнмента на пространственную неоднородность пылевых структур. В то же время заряд частиц, от которого существенно зависят все исследуемые характеристики плазменно-пылевых систем, считается постоянным. Насколько это допущение обосновано?
4. При развитии аналитической теории во второй главе автором обозначены границы применимости полученных выражений. Указано, что полученные формулы применимы для сильно экранированных систем. Возникает вопрос, как изменятся полученные результаты в случае, если потенциал будет слабо экранирован?
5. В ряде экспериментов, в том числе в работах, выполненных на Международной Космической Станции, наблюдаемые пылевые структуры могут быть однородны или же имеют разреженную центральную область (и даже войды) и плотные оболочки. Как автор объясняет эти эффекты в рамках предложенной в диссертации теоретической модели?

Приведённые замечания не влияют на общую положительную оценку рассматриваемой диссертации. Выполнен большой объем работ, результаты опубликованы в статьях в высокорейтинговых российских и зарубежных журналах. Апробация проведена более чем на 30 конференциях, на многих из которых автор выступал с устными докладами. Высокое качество работы Николаева В.С. подтверждается рядом наград, полученных им по итогам конференций.

Содержание диссертационной работы соответствует паспорту специальности 1.3.9 – Физика плазмы. Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует всем критериям, установленным п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней № 842 от 24.09.2013г., а ее автор Николаев Владислав Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9 – Физика плазмы.

Председатель

Спасибо, Геннадий Иванович. Владислав Сергеевич, Вам предоставлено слово для ответа на замечания Геннадия Ивановича.

Николаев В.С.

Геннадий Иванович, спасибо большое за вопросы.

В первую очередь, я бы начал с наиболее интересного с корыстных позиций для нас вопроса, какой сценарий реализуется при каких условиях в плазменно-пылевом монослое. Есть несколько, скажем так, абзацев про это в тексте диссертации. Это очень важный вопрос, потому что экспериментальное подтверждение обоих эффектов хотелось бы получить, и здесь на данный момент хотелось бы дать следующий ответ, создающий затравку на экспериментальные исследования, как раз в этом «корысть» и заключается. Если мы говорим о классическом сценарии плавления монослоя, когда мы рассматриваем систему, в которой в первую очередь плавятся внешние оболочки, здесь ожидается высокое давление разрядного газа в разрядной трубке. С уменьшением давления разрядного газа интенсивность эффекта ионного фокуса и перекачки энергии между плазменной подсистемой и пылевой подсистемой, она возрастает вплоть до развития неустойчивости связанных мод. Это обычно происходит при низких давлениях. Можно ожидать, что если давление держится низким, это один из основных параметров, который можно контролировать в разрядной трубке, как и ток и напряжение разряда, можно ожидать плавление из центральной области монослоя. Если хочется наблюдать классический сценарий плавления, то в этом случае давление должно быть высоким, а инициироваться плавление за счет внешних воздействий, лазерного излучения или сдвига, но нужны высокие давления, которые подавляют эффект ионной фокусировки.

Далее хотелось бы перейти к вопросам по диссертации.

Термин «фазовые переходы» здесь используется в «жаргонном» общепринятом ключе. Конечно, корректно его применять для систем в термодинамическом пределе, это замечание принято.

По поводу того, допускает ли наша модель учет пространственного распределения окружающей плазмы. Безусловно, допускает, совместное молекулярно-динамическое моделирование было проведено в рамках нашей лаборатории и с включением самосогласованного расчета распределения потенциала вокруг пылевой частицы за счет решения кинетического уравнения для ионов и электронов плазмы. В принципе, это моделирование можно совместить и с моделированием газового разряда. Такой учет допускается.

Хотел бы перейти к пятому вопросу, где упоминаются различные конфигурации пылевых частиц, с разреженным центром и с войдом. В рамках той модели, что используется в диссертации, бессмысленно пытаться такие интересные сложные эффекты описать, модель должна расширяться учетом силы ионного увлечения, термофоретической силы, других эффектов, в этом случае объяснение должно быть возможным, однако тем не менее, локальное приближение к анализу характеристик структур и в рамках расширенной модели остается интересным и может нести дополнительную информацию.

Дальше вопрос, касающийся экранировки потенциала взаимодействия. Вопрос, в особенности важный для аналитической модели. Вид формул полученных существенно изменится, если мы перейдем к чистому кулоновскому потенциалу, потому что там ограничиться учетом ближайших соседей при расчете взаимодействия частиц нельзя. Эйнштейновскую частоту в этом случае нужно считать численно, и это будет уже не аналитическая модель. Но эти результаты были нами проверены в рамках численного моделирования. На качественном уровне характер результатов сохраняется. Наблюдается и неоднородность, и некоторые особенности пространственного распределения амплитуды тепловых колебаний. Но в кулоновской системе может возникнуть ситуация,

при которой амплитуда выше не на периферии, а на средних оболочках. А вот в сильно экранированной кулоновской системе выше будет на периферии всегда. Она удовлетворяет аналитической модели в рамках заявленных приближений.

Сухинин Г.И.

Спасибо, Владислав Сергеевич.

Председатель

Спасибо. Теперь я хотел бы предоставить слово Андрею Юльевичу Дубинскому, официальному оппоненту.

Дубинский А.Ю.

В первую очередь, я хотел бы поблагодарить Генри Эдгаровича Нормана, который порекомендовал меня в качестве оппонента, подкинул идею, потому что диссертация и общение с диссертантом меня обогатили, мы даже в непосредственном общении с Владиславом выяснили некоторые моменты, касательно понятия конфайнмента, квазидвумерного, квазиодномерного случаев, которые требуют иногда более детального толкования. Если говорить в целом, то диссертация актуальна для меня как для человека, который занимается физикой атмосферных явлений и пылевой плазмы. Вопросы плазменно-пылевых систем в ионосферах – безусловно, задача первой актуальности.

(Зачитывает отзыв о соискателе. Выступление не стенографируется. Отзыв оппонента Дубинского А.Ю. на диссертацию Николаева В.С. приложен).

По ходу чтения диссертации у меня возникло несколько вопросов, из которых, правда, некоторые вопросы были уже озвучены, на них я уже получил ответы в ходе дискуссии. Из оставшихся у меня, как у человека, который непосредственно занимается численным моделированием, возникли следующие:

1. Вы оперируете при сравнении с экспериментом системой, в которой 380 частиц. Это специальное «магическое» число? Или это так получилось? В связи с этим у меня вопрос: можно ли контролировать число частиц в эксперименте? Или как в цепных реакциях, одно из характерных свойств, повторяемость эксперимента невелика? Можно ли задать не 380, а 80, 1380 частиц? Изучить асимптотику при большом и малом числе частиц? Как производить обсчет? Можно ли посчитать для десятка тысяч частиц? Что в этом отношении делалось?

Николаев В.С.

Андрей Юльевич, вопрос о влиянии числа частиц возникает и в аналитической модели, и в численной, и с точки зрения асимптотик разработанной модели. Этот вопрос задавался и Александром Михайловичем Игнатовым в отзыве на автореферат диссертации. Дело в том, что, если рассматривать малые системы, 3-7 частиц, в этих системах особенности другие. Вы использовали слово «магические», тут как раз есть «магические» числа частиц, наиболее устойчивые конфигурации. Они изображены на слайде. Говорить здесь о ярко выраженной, практически аналитической неоднородности здесь не приходится. Можно перейти к большим системам и к термодинамическому пределу.

Чтобы разобраться, можно посмотреть на формулу, которую я упоминал в литературном обзоре. Она описывает радиальный профиль плотности в зависимости от основных параметров системы: ловушки, заряда, константы экранировки и числа частиц. Если число частиц большое, два множителя вообще сокращаются, и у нас система остается неоднородной, но при этом в центре системы асимптотически к нулю устремляется плотность. В такой системе термодинамический предел – «сингулярность» в центре, большого физического смысла такой случай не имеет. Имеет физический смысл ситуация, когда мы фиксируем плотность в центре. В этом случае с увеличением числа

частиц будем меняться не фиксированная плотность в центре, а параметр ловушки. В термодинамическом пределе ловушка будет стремиться к нулю, и система с хорошей точностью будет соответствовать классическому юкавовскому кристаллу. Но вопрос, какой смысл это имеет, ведь сама модель параболической ловушки накладывает ограничения на размер системы, на ее пространственную конфигурацию, потому что это только первый член в разложении потенциальной энергии. И рассматривать системы из миллионов, даже десятков тысяч частиц в рамках такой модели – грубое приближение. Там нужно модель модифицировать.

Дубинский А.Ю.

Спасибо большое, тогда один вопрос касается параболического потенциала, это идеализация, реальный потенциал имеет ангармонические элементы. Что Вы можете сказать? Просчитывался ли этот фактор? Или его можно как-то оценить без расчета? Я не знаю, насколько здесь ресурс счетный легкий или тяжелый, легко сказать, а посчитайте, а возможно счет идет на часы или сутки. Как можно выяснить влияние ангармоничности?

Николаев В.С.

Расчет таких систем, их структурной конфигурации, он достаточно «дешевый» за сутки таких систем можно посчитать тысячу и использовать самые разные формы конфайнмента. Конечно, параболический конфайнмент – это приближение, и здесь стоит понимать, откуда вообще берется неоднородность. Дело в том, что параболический конфайнмент, или вообще конфайнмент в принципе, зависящий от расстояния до центра, когда сила, притягивающая частицу, монотонно растет с удалением от центра, в таком конфайнменте неоднородность будет ответом на любую форму потенциала, потому что возникает необходимость компенсировать силу, действующую на частицу со стороны этой внешней ловушки. Если не возникает градиента плотности, компенсировать ловушку нечем. Соответственно, учет ангармонических слагаемых при монотонности потенциала не приведет к исчезновению неоднородности. Почему в диссертации этот случай не рассмотрен. Акцент был сделан на первом приближении, из которого мы попытались достать наибольшее количество следствий и понять эти эффекты. Обобщение может рассматриваться в рамках дальнейших работ.

Дубинский А.Ю.

То есть получен принципиальный результат. Дальнейшее «выковыривание» - превышение точности.

Николаев В.С.

С учетом того, что экспериментаторам доступны самые разные конфигурации, нельзя назвать это превышением точности. Если наблюдается другая конфигурация, описывать это тоже нужно.

Дубинский А.Ю.

Понятно. Теперь значимость экранировки кулоновского потенциала. Здесь возникает вопрос применимости.

Николаев В.С.

Можно дополнить предыдущий ответ. Система отвечает на силу со стороны ловушки градиентом плотности. Если потенциал сильно экранирован, она отвечает ближайшими соседями. Если же потенциал не экранирован, там нет такого термина как радиус обрезки потенциала, и мы должны учитывать сумму по всем частицам системы. Это смягчит эффекты экранировки, компенсацию на себя возьмет большее число частиц, но неоднородность в системе все равно будет. На этом графике показаны профили плотности при различных экранировках потенциала.

Дубинский А.Ю.

Спасибо. Еще до защиты поговорили о возникновении различных возможных колебательных, волновых эффектов. Это весьма перспективные вопросы. Диссертант заслуживает присуждения степени.

Председатель

Спасибо, Андрей Юльевич. Ну, отвечать Вам нечего. Приступаем к дискуссии.

Норман Г.Э.

Дорогие коллеги, хотел бы отметить. Я давно знаю Владислава, почти столько же, сколько и Алексей Владимирович. У него очень широкие знания, широкая эрудиция, которая выходит далеко за рамки темы диссертации, это ему поможет в жизни. В частности, когда был экзамен по специальности, я почему-то забылся и задал вопрос повышенной сложности в стороне, и Владислав мгновенно ответил, причем правильно. Я задал второй вопрос, опять с тем же эффектом. Я понял, что что-то перебираю, и решил экзамен закончить. Широкая эрудиция, она хорошее дополнение к диссертации.

Сухинин Г.И.

Я, пожалуй, все сказал про диссертацию Николаева В.С., про его качества, про то, что он достоин. Но я не разделяю его убеждения в том, что все так просто, что он решил все задачи. Например, приближение точечного ионного фокуса требует замены на более точное, например, particle-in-cell, а это другой класс задач, другие времена счета. Пожалуй, это может стать темой не только докторской диссертации для Николаева, но и для многих других.

Председатель

Спасибо, Геннадий Иванович, больше желающих выступить нет, и мы можем предоставить слово диссертанту.

Николаев В.С.

Я хотел бы поблагодарить за возможность защититься в совете родного института, это очень удобно. Хотел бы поблагодарить научного руководителя, который со мной все эти 8 лет прошел. На многие научные подвиги меня вдохновил именно Алексей Владимирович, очень методичный последовательный ученый. Он гасил мою вспыльчивость. Хотел бы сказать спасибо родителям за то, что никогда не были против того, чтобы я был ученым.

Председатель

Спасибо, наконец, мы должны приступить к голосованию, передаю слово ученому секретарю.

Ученый секретарь

Дорогие коллеги, голосование у нас проводится с использованием телекоммуникационных систем. Прошу всех присутствующих войти на сайт ОИВТ РАН со своим логином и паролем и проголосовать о присуждении степени кандидата наук Владиславу Сергеевичу.

Председатель

Владислав Сергеевич, сейчас мы будем вносить изменения в Ваше заключение, возьмите текст, сейчас последуют пожелания, что надо изменить.

Председатель

Уважаемые члены Совета! Давайте послушаем результаты.

Ученый секретарь

Уважаемые члены Совета! Все проголосовали. Объявляю результаты. Получено 22 голоса – все голоса присутствующих. По профилю диссертации 10 членов диссертационного совета, очно участвовало 11, из них 4 по профилю, дистанционно участвовало 11 членов диссертационного совета, из них 6 по профилю. Результаты голосования: 22 за, 0 воздержалось, 0 против. Прошу утвердить голосование. *(Протокол счетной комиссии утвержден единогласно)*. Против 0, воздержалось 0, за единогласно. Спасибо.

Председатель

Спасибо большое, поздравляем.

Переходим к обсуждению проекта заключения. *(Члены диссертационного совета обсуждают проект заключения)*. Диссертант правки получил. Думаю, мы можем принять проект заключения после внесения этих правок. Кто за заключение с замечаниями, которые были указаны? Кто против? Нет. Кто воздержался? Нет. Спасибо, принято единогласно. *(Проект заключения принят единогласно)*.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.193.01 (Д 002.110.02), СОЗАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 05.10.2022г. № 23

О присуждении Николаеву Владиславу Сергеевичу, гражданину Российской Федерации ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Динамические свойства и фазовые переходы в неоднородных плазменно-пылевых системах» по специальности 1.3.9 – физика плазмы принята к защите 01.08.2022г., (протокол заседания № 15) 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 Николаев Владислав Сергеевич 1996 года рождения, в 2019 году окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)».

Работает в должности научного сотрудника лаборатория № 14.1 – теории неидеальной плазмы Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук.

В 2019 году окончил очную магистратуру Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)».

Диссертация выполнена в лаборатории 14.1 – теории неидеальной плазмы Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук.

Научный руководитель кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией 14.1 – теории неидеальной плазмы Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук, заместитель директора по научной работе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук Тимофеев Алексей Владимирович.

Официальные оппоненты:

- доктор физико-математических наук, профессор кафедры Физики неравновесных процессов Физического факультета Новосибирского государственного университета, главный научный сотрудник Лаборатории разреженных газов 4.1 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского Отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН) Сухинин Геннадий Иванович;

- кандидат физико-математических наук, научный сотрудник лаборатории плазменно-пылевых процессов в космических объектах Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН) Дубинский Андрей Юльевич

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» (г. Санкт-Петербург) в своем положительном заключении, составленном профессором кафедры Общей Физики I Физического факультета СПбГУ д.ф.-м.н. Карасевым В.Ю. (утвержденном 12.09.2022г. проректором по научной работе Микушевым С.В.) указала, что научная значимость работы определяется научной новизной по всем направлениям работы. Например, впервые показано, что влияние удерживающей электростатической ловушки приводит к неоднородности динамических характеристик систем заряженных частиц: амплитуды и спектров колебаний частиц, параметров неидеальности и Линдемманна. Предложены аналитические соотношения, описывающие радиальные профили указанных характеристик. Полученные соотношения демонстрируют хорошую применимость к описанию экспериментальных данных и результатов численного моделирования. Дополнительно адаптирован локальный критерий плавления, допускающий применение тогда, когда широко известный параметр Линдемманна дает некорректные результаты. С помощью этого критерия описано два принципиально различных режима плавления плазменно-пылевого монослоя.

Соискатель имеет 45 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 45 работ, из них 35 тезисов в сборниках трудов конференций, 10 работ в рецензируемых научных изданиях:

1. *V.S. Nikolaev, A.V. Timofeev. Screening length in dusty plasma crystals // J. Phys.: Conf. Ser. 2016. Vol. 774, no. 1. P. 012172.*
2. *И.С. Самойлов, В.П. Баев, А.В. Тимофеев, Р.Х. Амиров, А.В. Кириллин, В.С. Николаев, З.В. Бедрань. Пылевая плазма в тлеющем разряде гелия в диапазоне температур 5--300 К // ЖЭТФ. 2017. Т. 151, № 3. С. 582-591.*
3. *V.S. Nikolaev, A.V. Timofeev. Dependence of average inter-particle distance upon the temperature of neutrals in dusty plasma crystals // J. Phys.: Conf. Ser. 2018. Vol. 946, no. 1. P. 012146.*
4. *А.В. Тимофеев, В.С. Николаев. Влияние параметров тлеющего разряда на среднее межчастичное расстояние в плазменно-пылевых структурах в диапазоне температур от криогенных до комнатной // ЖЭТФ. 2019. Т. 155, № 2. С. 356-370.*
5. *V.S. Nikolaev, A.V. Timofeev. Inhomogeneity of a harmonically confined Yukawa system // Phys. Plasmas. 2019. Vol. 26, no. 7. P. 073701.*
6. *V.S. Nikolaev, A.V. Timofeev. Influence of ion shadowing effect on average inter-particle distance in dusty plasma crystals // J. Phys.: Conf. Ser. 2019. Vol. 1147, no. 1. P. 012109.*
7. *V.S. Nikolaev, A.V. Timofeev. Inhomogeneity of a one-dimensional Yukawa system in a trap // J. Phys.: Conf. Ser. 2020. Vol. 1556, no. 1. P. 012077.*
8. *А.В. Тимофеев, В.С. Николаев, В. П. Семенов. Неоднородность структурных и динамических характеристик пылевой плазмы в газовом разряде // ЖЭТФ. 2020. Т. 157, № 1. С. 180-188.*
9. *V.S. Nikolaev, A.V. Timofeev. Nonhomogeneity of phase state in a dusty plasma monolayer with nonreciprocal particle interactions // Phys. Plasmas. 2021. Vol. 28, no. 3. P. 033704.*

10. Д.А. Колотинский, В.С. Николаев, А.В. Тимофеев. Влияние структурной неоднородности и невзаимных эффектов во взаимодействии макрочастиц на динамические свойства плазменно-пылевого монослоя // Письма в ЖЭТФ. 2021. Т. 113, № 9. С. 514-522.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. **Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук» (ИОФ РАН)** (д.ф.-м.н., профессор, главный научный сотрудник теоретического отдела Игнатов А.М.) – отзыв положительный, с пожеланием уточнить, как число частиц в системе заряженных частиц влияет на полученные результаты.

2. **Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт космических исследований Российской академии наук** (д.ф.-м.н., профессор, заведующий лабораторией плазменно-пылевых процессов в космических объектах Попель С.И.) – отзыв положительный, без замечаний.

3. **Акционерное общество «Государственный научный центр Российской Федерации Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований»** (к.т.н., старший научный сотрудник отдела физики неидеальной плазмы центра теоретической физики и вычислительной математики Решетняк В.В.) – отзыв положительный, с замечаниями:

- в автореферате несколько раз упоминается термин «неустойчивость связанных мод», который не является общеизвестным. Из текста автореферата неясно, что имеется в виду;

- В автореферате имеется опечатка в формуле (1) на стр. 9.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается:

- доктор физико-математических наук, профессор Сухинин Г.И. является ведущим ученым в области моделирования плазмы газового разряда в присутствии дополнительной заряженной компоненты в виде пылевых частиц.

1. A.V. Fedoseev, N.A. Demin, M.V. Salnikov, G.I. Sukhinin. Non-local electron kinetics around the cloud of dust particles // Contributions to Plasma Physics, Volume 59, Issue 26, 2019;

2. M. Salnikov, G. Sukhinin. Influence of the Dust Particle Shape on the Wake Formation in a Complex Plasma // IEEE Transactions on Plasma Science, Volume 49, No. 9, pp. 2583-2588, 2021;

3. M. Salnikov, A. Fedoseev, G. Sukhinin. Plasma Parameters around a Chain-Like Structure of Dust Particles in an External Electric Field // Molecules, Volume 26, No. 13, p. 3846, 2021.

- кандидат физико-математических наук Дубинский А.Ю. является признанным и активно публикующимся специалистом в области теоретического описания процессов с участием заряженных пылевых частиц в космических объектах.

1. Yu.S. Reznichenko, A.Yu. Dubinskii, S.I. Popel. On Dusty Plasma Formation in Martian Ionosphere // Journal of Physics: Conference Series, Volume 1556, p. 012072, 2020.

2. A.Yu. Dubinskii, S.I. Popel. Water Formation in the Lunar Regolith // Cosmic Research, Volume 57, No. 2, 2019;

3. A.Yu. Dubinskii, S.I. Popel. On a Possible Process for the Formation of Iron Oxide in the Lunar Regolith // Solar System Research, Volume 55, No. 4, 2021.

- ведущая организация Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» (г. Санкт-Петербург) является широкопрофильной организацией, специализирующейся на проведении экспериментальных исследований в области физики пылевой плазмы, в том числе под влиянием внешних магнитных полей в тлеющем разряде постоянного тока.

1. A.V. Siasko, Yu.B. Golubovskii, V.Yu. Karasev, About the photoemission of electrons from the surface of a spherical dust particle in gas discharge plasma // Plasma Sources Science and Technology, Volume 30, No. 6, 2021.

2. V.Y. Karasev, E.S. Dzhlieva, S.I. Pavlov, L.A. Novikov, S.A. Maiorov. The Rotation of Complex Plasmas in a Stratified Glow Discharge in the Strong Magnetic Field // IEEE Transactions on Plasma Science, Volume 46, No. 4, pp. 727-730, 2018.

3. A. Kartasheva, Yu. Golubovskii, V. Karasev. Dust Particle Charge in a Stratified Glow Discharge // IEEE Transactions on Plasma Science, Volume 46, No. 4, pp. 723-726, 2018.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- получены аналитические соотношения, описывающие радиальный профиль амплитуды тепловых колебаний, параметров Линдемманна и неидеальности в системе сильно экранированных зарядов в параболической ловушке. Показано, что под действием ловушки в такой системе возникает пространственная неоднородность динамических характеристик, в частности, амплитуды тепловых колебаний и параметра Линдемманна;

- при помощи методов численного моделирования для цепочечных, однослойных, трехмерных систем из заряженных частиц в ловушке показано, что помимо амплитуды тепловых колебаний, существенно отличаются и спектры колебаний частиц в различных областях системы. Делается вывод о том, что система должна рассматриваться не как целое, а как совокупность подсистем, обладающих принципиально различными характеристиками. Проведено сравнение теоретических результатов с доступными в литературе экспериментальными данными, из которых следует пространственная неоднородность свойств плазменно-пылевого монослоя;

- показано, под влиянием пространственной неоднородности в системе заряженных частиц могут протекать различные сценарии плавления, в том числе такой, при котором более плотная расплавленная область структуры сосуществует с разреженной упорядоченной. Предложен локальный критерий плавления, сформулированный с использованием параметра флуктуации межчастичного расстояния, он позволяет достаточно точно определить положение фронта плавления в системе. Отдельно рассматривается влияние эффекта ионного фокуса на сценарий плавления плазменно-пылевого монослоя. Описан режим, в котором плотное расплавленное ядро монослоя сосуществует с упорядоченными оболочками.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- проанализировано влияние удерживающей электростатической ловушки на характер пространственного распределения свойств систем из конечного числа заряженных частиц и предложен локальный подход для рассмотрения таких систем вследствие возникающей в них неоднородности;

- выявлено два возможных сценария плавления однослойной структуры из пылевых частиц в плазме газового разряда, в том числе неравновесный сценарий, при котором более плотное ядро системы плавится при более низкой температуре.

Значение полученных соискателем результатов **исследования для практики подтверждается** тем, что предложен и обоснован новый подход к анализу экспериментальных данных, заключающийся в расчете характеристик систем заряженных частиц не для всей системы целиком, а для ее отдельных областей в локальном приближении. Этот подход апробирован на экспериментальных данных отечественных и зарубежных коллективов и доказал свою применимость. Результаты работы могут быть использованы в научных и научно-образовательных центрах, а также в организациях, занимающихся разработкой установок для плазменного травления и исследованиями в области физики пылевой плазмы: Институте теплофизики им. С.С. Кутателадзе, Объединенном институте высоких температур, Национальном исследовательском центре «Курчатовский институт», МГУ им. М.В. Ломоносова, АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ», Институте общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Национальном исследовательском ядерном университете «МИФИ», Физико-энергетическом институте им. А. И. Лейпунского, Московском физико-техническом институте (национальном исследовательском университете).

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что достоверность полученных результатов подтверждается согласованным сравнением аналитической модели, результатов численного моделирования и экспериментальных данных.

Результаты работы многократно представлялись на российских и международных конференциях и хорошо известны научному сообществу.

Личный вклад соискателя состоит в разработке аналитической модели, описывающей неоднородность динамических свойств систем заряженных частиц, проведении расчетов для моделирования таких систем при помощи, в том числе, самостоятельно написанных расчетных кодов, а также сравнении результатов с данными экспериментов. Соискатель является обладателем Медали Российской академии наук для студентов высших учебных заведений в области физико-технических проблем энергетики за работу по теме диссертации в 2018 году.

Апробация результатов исследования проводилась на 35 российских и международных конференциях и симпозиумах. Основные публикации по выполненной работе также подготовлены при определяющем участии автора.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

Соискатель Николаев Владислав Сергеевич ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы, согласился с замечаниями и привел собственную аргументацию.

На заседании от 05.10.2022 г. диссертационный совет принял решение за решение научной задачи, имеющей значение для развития физики плазмы, присудить Николаеву Владиславу Сергеевичу ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы.

При проведении тайного голосования Диссертационный совет в количестве 22 человек, из них очно: 4 доктора наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы и 6 докторов наук по специальности 1.3.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника, дистанционно: 6 докторов 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 22, против 0, недействительных бюллетеней - 0.

Зам. председателя диссертационного совета 24.1.193.01 (Д 002.110.02)
д.ф.-м.н., профессор

Храпак А.Г.

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

Тимофеев А.В.
05.10.2022 г.

