

## ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу Саметова Эдуарда Александровича «Спектральная плотность случайных процессов и межчастичное взаимодействие в комплексной плазме», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы

Диссертационная работа Саметова Э.А. посвящена изучению межчастичного взаимодействия в комплексной плазме с помощью нового метода спектрального отклика на стохастические процессы. Взаимодействие микрочастиц определяет разнообразные явления в пылевой плазме, включая самоорганизацию, подкачку и перераспределение энергии, неравновесные фазовые переходы в пылевой компоненте. Однако, вопросы межчастичного взаимодействия в экспериментах остаются нерешенными. Соответственно, актуальность работы обусловлена разработкой эффективного метода исследования взаимодействия между пылевыми частицами и подробным анализом сил, действующих на них в плазме.

Среди результатов, обладающих научной новизной, стоит отметить следующие: получение аналитических выражений для спектральной плотности случайных процессов в обобщенной линейной системе связанных осцилляторов и анализ воздействия ключевых параметров системы на спектральную плотность; создание и успешная проверка нового экспериментального метода, основанного на анализе спектрального отклика на случайные процессы, который позволяет восстанавливать параметры плазменно-пылевой системы; проведение количественного изучения взаимодействия между пылевыми частицами и электрического поля страты в условиях левитации частиц, при наличии двух устойчивых конфигураций для пары частиц. Экспериментальные данные, полученные с использованием предложенного метода, позволяют проверить критерии конфигурационной неустойчивости системы.

Диссертация состоит из 5 основных глав, введения, заключения и списка литературы. Общим объемом работы составляет 142 страницы, из них 127 страницы текста и 15 страниц списка литературы, состоящего из 249 ссылок.

Во введении изложены актуальность темы исследования, цели и задачи работы, новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов, положения, выносимые на защиту, степень достоверности и апробация результатов, описание личного вклада автора.

Первая глава является обзорной и включает в себя общую информацию о комплексной плазме, рассматриваются зарядка микрочастиц и электростатический потенциал в анизотропной и изотропной плазме. В тексте описаны силы, действующие на пылевые частицы в газоразрядной плазме, включая как не зависящие от электрического заряда частиц, так и связанные с зарядом, а также механизмы взаимодействия между частицами. В тексте главы также подробно рассмотрены существующие методы для анализа взаимодействия между частицами в пылевой плазме.

Во второй главе диссертации осуществляется комплексное аналитическое и численное исследование спектральных плотностей случайных процессов в системе связанных гармонических осцилляторов с учетом возможных нарушений симметрии в их взаимодействии. Представлены аналитические выражения спектральной плотности для

различных случаев, включая линейные системы связанных осцилляторов и системы из взаимодействующих броуновских частиц в ловушке, рассматривая колебания как частиц, так и их совместные и относительные колебания. Была проведена проверка аналитических выражений путем численного моделирования систем частиц, взаимодействующих с различными потенциалами. Подробно рассмотрены спектральные плотности для вертикальных пар частиц, цепочечных структур и квазидвумерных кластеров. Результаты численного моделирования подтверждают аналитические выводы, обеспечивая согласование между ними.

В третьей главе представлен новый метод исследования взаимодействий в пылевой плазме, основанный на аналитических выражениях из предыдущей главы. Этот метод спектрального отклика на стохастические процессы обладает способностью точно восстанавливать параметры сил взаимодействия между частицами, коэффициенты трения и характеристики источников энергии. Было продемонстрировано, что метод работает эффективно даже при обработке данных с погрешностью измерений.

В четвертой главе представлены результаты анализа лабораторных экспериментов с пылевой плазмой с помощью спектрального метода. Эксперименты проводились с цепочечными структурами в высокочастотном газовом разряде емкостного типа и в стратифицированном тлеющем разряде постоянного тока. Предложенный метод позволил определить производные сил взаимодействия и удержания, коэффициенты трения и характеристики источников кинетической энергии частиц в зависимости от параметров экспериментов. Полученные результаты показали, что при всех условиях разряда взаимодействие между частицами является невзаимным. Также был отмечен процесс разрядки нижней частицы по структуре. Было получено, что небольшие пространственные флуктуации заряда частиц могут значительно влиять на их взаимодействие. Кроме того, исследована устойчивость вертикальных пар частиц в различных конфигурациях, включая случаи симметрично и несимметрично взаимодействующих частиц. Полученные результаты были использованы для экспериментальной проверки аналитических критериев устойчивости.

В пятой главе исследуются процессы диффузии, спектральные и структурные характеристики ограниченных ансамблей заряженных броуновских частиц в присутствии магнитного поля. Представлены результаты аналитического и численного анализа систем частиц в магнитных полях различной интенсивности. Показано, что для рассмотренных систем коэффициент диффузии ансамбля частиц в магнитном поле соответствует формуле Таунсенда, и предложены аналитические оценки для оценки эффективного радиуса разлета. Представлено аналитическое и численное исследование динамики кластерных систем заряженных частиц в удерживающем силовом поле при наличии магнитного поля. Анализируются спектральные и структурные характеристики систем, а также влияние температуры и количества частиц на их свойства.

По диссертации возникли следующие вопросы:

- 1) В Главе 5 на стр. 118 написано, что характеристики  $(\langle x^2 \rangle, \langle \Delta x^2 \rangle \dots)$  не зависят от магнитной индукции  $B$ . Можно ли интерпретировать независимость этих параметров от  $B$ ?
- 2) В Главе 5 на стр. 123 приводится сравнение с работами, в которых исследовалось влияние магнитных полей 4000-40000 Гс на плазменно-пылевые облака в радиочастотном разряде. Можно ли сопоставить полученные данные с работой

Мельцера 2019 г. в магнитном поле до 60000 Гс (A.Melzer, H.Kruger S.Schutt, and M.Mulsow Phys. Plasmas 26, 093702 (2019))?

- 3) В заключении на стр. 124 указано, что предложен новый метод для определения сил взаимодействия между частицами в плазменно-пылевых структурах. Можно ли сформулировать диапазон параметров, при котором развиваемые методы работают в магнитном поле?

По результатам работы Саметова Э.А. 13 статей опубликованы в ведущих зарубежных и российских рецензируемых научных журналах. Материалы были апробированы на 18 международных и российских научных конференциях. Автореферат и опубликованные работы полностью отражают содержание диссертации. Личный вклад Саметова Э.А. явно обозначен в работе и не вызывает сомнений.

Результаты работы могут быть использованы в ряде организаций: институте Общей физики им. А.М. Прохорова, МГУ им. М.В. Ломоносова, Институте прикладной физики РАН, Троицком институте инновационных и термоядерных исследований, МФТИ, СПбГУ, ОИВТ РАН и др. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

В заключении отзыва скажу, что сделанные замечания не портят позитивной картины полученных результатов. Рецензируемая 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 Саметов Эдуард Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы.

Официальный оппонент:

Доцент кафедры Общей физики 1  
Физического факультета СПбГУ  
Кандидат физико-математических наук  
« 7 » 11 \_\_\_\_\_ 2023г.

Павлов Сергей Иванович

Адрес: 199034, г. Санкт-Петербург, Университетская набережная, 7-9  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»  
<http://www.spbu.ru>  
E-mail: [s.i.pavlov@spbu.ru](mailto:s.i.pavlov@spbu.ru)  
Тел.: (812) 428-44-66



Текст документа размещен  
в открытом доступе  
на сайте СПбГУ по адресу  
<http://spbu.ru/science/expert.htm>