

## 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. В связи с этим было проведено аналитическое и численное исследование спектральной плотности случайных процессов, действующих в обобщенной системе связанных гармонических осцилляторов, в том числе с учетом нарушения симметрии межчастичного взаимодействия. На основе полученных выражений была предложена новая бесконтактная методика восстановления параметров плазменно-пылевой системы, в том числе сил взаимодействия между броуновскими частицами в плазме и параметров внешнего удерживающего потенциала, а также коэффициентов трения и характеристик источников стохастической энергии. Новый метод позволил изучить силы, действующие на микрочастицы в пылевой плазме. Актуальность выполненного исследования заключается в том, что правильное понимание и описание процессов, происходящих в пылевой плазме, важны не только для изучения окружающего нас мира, в котором она распространена повсеместно, но и для решения многих практических задач в производстве микроэлектроники, при разработке и эксплуатации ускорителей и плазменных реакторов, а также в других сферах человеческой деятельности.

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.

В первой главе проводится обзорный анализ, предоставляя основные сведения о комплексной плазме. Освещаются темы, связанные с процессами зарядки микрочастиц и формированием электростатического потенциала как в изотропной, так и анизотропной плазме. Глава также включает детальное рассмотрение различных сил, воздействующих на пылевые частицы в газоразрядной плазме, включая как независимые от электрического заряда частиц, так и те, которые связаны с их зарядом. Кроме того, приведены механизмы взаимодействия между частицами. Подробно рассмотрены существующие методы анализа взаимодействия между частицами в пылевой плазме.

Во второй главе проведено исследование спектральных плотностей случайных процессов в системах связанных гармонических осцилляторов. Представлены аналитические выражения спектральных плотностей взаимодействующих броуновских частиц в различных конфигурациях. С помощью численного моделирования проведена проверка полученных аналитических выражений.

В третьей главе представлен метод исследования взаимодействий, основанный на аналитических выражениях, полученных в предыдущей главе. Этот метод позволяет восстанавливать параметры удерживающих сил и сил взаимодействия, а также коэффициенты трения и характеристики источников энергии частиц. Проведено сравнение с другими невозмущающими методами. Продемонстрировано, что предложенный метод является эффективным при обработке данных с погрешностью измерений.

В четвертой главе представлены результаты экспериментального исследования системы микрочастиц в плазме, полученной в газовых разрядах ВЧ и постоянного тока. Анализируются результаты экспериментов с вертикальными парами и цепочечными структурами в плазме ВЧ разряда. Обнаружены значительные нарушения симметрии взаимодействия между частицами. Показано, что небольшие пространственные флуктуации заряда нижней частицы могут привести к значительной ошибке в определении эффективного взаимодействия между частицами. Анализ результатов экспериментов в разрядах постоянного тока также продемонстрировал нарушение симметрии взаимодействия между частицами. Полученные результаты позволили провести экспериментальную проверку критериев устойчивости вертикальной пары частиц.

В пятой главе рассмотрено влияние магнитного поля на процессы диффузии, спектральные и структурные характеристики систем заряженных броуновских частиц. Показано, что для слабонеидеальных систем коэффициент диффузии соответствует формуле Таунсенда, и предложены аналитические оценки для оценки эффективного радиуса разлета. Также исследованы системы заряженных броуновских частиц в удерживающем поле ловушки в присутствии магнитного поля. Моделируются кластерные системы с кулоновским взаимодействием, и анализируются их спектральные и структурные характеристики.

Значимость работы определяется большим потенциалом для использования полученных результатов в 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, Московском физико-техническом институте, Национальном исследовательском ядерном университете «МИФИ» и в других научных организациях, проводящих исследования в области физики пылевой плазмы. Автореферат полностью отражает содержание диссертации. Личный вклад Саметова Э.А. явно обозначен в работе и не вызывает сомнений.

По диссертации возникли следующие замечания:

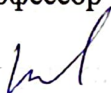
- 1) В работе подробно рассмотрено влияние коэффициента трения частиц на ошибки измерения с помощью предложенного метода, однако не рассмотрено влияние остальных параметров системы (таких как параметры неидеальности, невзаимности и т.д.).
- 2) В диссертации перечисляются преимущества разработанного метода спектрального анализа, однако ничего не сказано о его недостатках и ограничениях.
- 3) В моделировании используется модифицированное кулоновское взаимодействие между частицами. Однако в тексте диссертации не поясняется, с чем связан выбор подобного потенциала и насколько он соответствует экспериментам.

- 4) В работе встречается фраза «отношение средней кинетической энергии частиц к задаваемой температуре». Необходимо пояснить, что вкладывается в понятие «задаваемая температура», и в каких случаях она может не соответствовать кинетической энергии частиц.

Все перечисленные замечания носят рекомендательный характер и не снижают общей значимости диссертационной работы. 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.

Отзыв составил главный научный сотрудник Теоретического отдела Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук 19991, Москва, ул. Вавилова, д. 38, тел.: (499) 503-8747, aign@fpl.gpi.ru

д.ф.-м.н., профессор



Игнатов Александр Михайлович

«14» ноября 2023г.

Подпись А.М. Игнатова заверяю.

Вр. и. о. Ученого секретаря  
ИОФ РАН,  
д.ф.-м.н.



В.В. Глушков

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук 119991, Москва, ул. Вавилова, д. 38, тел.: (499) 503-8747, gpi.ru, e-mail: office@gpi.ru