

ОТЗЫВ
официального оппонента
на диссертационную работу Светлова Антона Сергеевича
«КОЛЛОИДНЫЕ СИСТЕМЫ
АКТИВНЫХ БРОУНОВСКИХ ЧАСТИЦ
В ТЛЕЮЩЕМ РАЗРЯДЕ ПОСТОЯННОГО ТОКА»
на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук по специальности
1.3.9 - физика плазмы

Диссертация Светлова Антона Сергеевича посвящена экспериментальному исследованию активного броуновского движения частиц и их структур в плазме тлеющего разряда постоянного тока при воздействии лазерного излучения. Способ воздействия на пылевую плазму посредством облучения лазерным лучом является избирательным, т.е., инвазивным воздействием на плазму. Первоначально при исследовании таких систем использовались изменение вкладываемой мощности, изменение скорости диссипации (посредством изменения давления плазмформирующего газа), а также наложение магнитного поля, приводящее к неоднородным сдвигам. С появлением подхода, использующего излучение лазера, ряд решаемых задач показал достижения, касающиеся именно пылевой компоненты, поскольку на собственно плазму лазерное излучение в условиях проводимых экспериментов не действует.

Новое развитие применения такого мягкого воздействия получено при использовании частиц со специальным покрытием, способным более эффективно взаимодействовать с излучением лазера. Исследование броуновской диффузии частиц способных преобразовать лазерный свет в направленное движение очень интересно с точки зрения изучения открытых неравновесных диссипативных систем. Пылевая плазма с активными частицами сегодня является актуальной тематикой, поскольку представляет собой достаточно простую и наглядную, но универсальную междисциплинарную модель для изучения неравновесных диссипативных систем, способных к процессу самоорганизации. Хочу подчеркнуть, в представленной работе исследуемая диссипативная система является трехмерной, увеличивая интерес к проблеме и ее актуальность.

Структура диссертации следующая.

Диссертация состоит из Введения, четырех Глав и Заключения, она изложена на 110 страницах, содержит 34 рисунка и список литературы, включающий 107 наименований.

Во *Введении* описан изучаемый объект, сформулирован выбор последовательных задач для решения поднятой в диссертации проблемы. Сформулирована цель работы, описана актуальность тематики и поставлена задача. Указаны научная новизна и значимость работы. Сформулированы защищаемые научные положения. Описана апробация работы и приведен список публикаций автора, его личный вклад.

В *Главе 1* рассмотрено понятие активного броуновского движения и способ его описания. Также рассмотрены виды активных частиц и механизмы индуцирования активного движения. Отдельно рассмотрены основные объекты исследования - пылевая плазма и макрочастицы. Акцент ставится на процессы активного броуновского движения частиц и плазменно-пылевых структур из них. Также приводятся примеры изменения динамических свойств частиц в плазме при облучении лазерным лучом различной интенсивности.

Глава 2 посвящена описанию экспериментального стенда и комплекса трехмерной диагностики для исследования плазменно-пылевых систем в тлеющем разряде

постоянного тока. Описан порядок проведения эксперимента в деталях, приведены иллюстрации.

В *Главе 3* представлены результаты экспериментального исследований активного броуновского движения и динамики уединенных частиц в плазме при воздействии лазерного излучения.

Описан объект исследования и разъяснена методика изготовления Янус-частиц в плазме высокочастотного газового разряда. Описан баланс сил, воздействующих на пылевую частицу. Помимо этого, показано, что воздействие лазерного излучения на частицу без поглощающего покрытия является наименьшим по сравнению с другими типами частиц. В то же время, для пылевых частиц с медным покрытием и Янус-частиц увеличение мощности лазера приводило к значительному увеличению их кинетической энергии и к расширению области их движения.

В *Главе 4* представлены экспериментальные результаты исследования активного броуновского движения частиц, а также формирование цепочечных структур из них в тлеющем разряде постоянного тока, исследована их динамика при воздействии лазерного излучения различной интенсивности. Помимо этого, описан механизм активного движения частиц, который связан с преобразованием лазерного излучения частицами в энергию собственного (не теплового) движения. Экспериментально обнаружено, что формирование цепочечных структур и их устойчивое состояние не нарушается при кинетическом разогреве частиц с ростом их кинетической энергии более чем на порядок. Это свидетельствует о реализации механизма формирования цепочек с сильной связью между частицами, который не объясняется только простым кильваторным (ионным) следом за вышестоящей частицей.

По тексту работы есть *замечания*. На 66 стр. опечатки в материале частиц и их покрытия. В ряде мест «калька с английского»: «в объеме нижнего слоя тлеющего разряда» - вероятно, это значит в головной части страты; «в полосах разряда постоянного тока» - очевидно, в стратах.

По диссертации возникли *вопросы*.

1. Про вращательное движение активных частиц. В работе, вероятно впервые, приведен глубокий литературный обзор проблемы. Хочется спросить у автора, является ли собственное вращение частиц каким-либо видом движения активных частиц, или только интерес связан с преобразованием энергии в поступательное движение? И еще, наблюдалось ли в эксперименте мерцание частиц при регистрации траекторий, в частности, у Янус-частиц?
2. Рисунки 3.2 и 3.3 показывают масштаб пространственной области движения отдельных частиц. Например для медных частиц при мощности лазера 0.9 Вт/см^2 это около 4 мм на 4 мм по горизонтали и вертикали, и кажется, что тут изотропные смещения. На Рисунках 4.2 и 4.3 при 0.8 Вт/см^2 смещение уже до 6 мм в горизонтальной плоскости, но только около 0.25 мм по вертикали. В цепочках возникает анизотропия смещения?
3. В связи с предыдущим вопросом, очень хочется сравнить энергетику частиц в цепочках и одиночных. Например, по рис 3.5 и 4.6. Эксперименты выполнены в разном диапазоне мощности, но при примерно 3.75 Вт/см^2 можно сделать сопоставление, хотя бы для медных частиц, у которых цепочки не разрушаются. Видно 40 эВ для частицы в цепочке и не более 10 эВ для одиночной частицы. Справедливо ли такое сравнение, и можно ли его как-то интерпретировать?

Помимо вопросов и замечаний хочу отметить *сильные стороны* работы. Прежде всего, это исследование в объемной пылевой структуре, тут и новизна, и анизотропные условия, и отражающие такой объект результаты. Далее, это регистрация скачка

кинетической энергии в радиальной плоскости у всех покрытых частиц. А также, немонотонность энергетика Янус-частиц в области 0.1-0.4 0.9 Вт/см². Дополнительно отмечу хороший стиль изложения и структурированный литературный обзор.

Нужно сказать, что обсуждаемая работа высокого уровня по применяемым методам, по использованию уникального оборудования, по полученному набору экспериментальных эффектов.

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 24.09.2013 г. (ред. 07.06.2021 г.), а ее автор Светлов Антон Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9 - физика плазмы.

Официальный оппонент:
Профессор кафедры Общей физики I
Физического факультета СПбГУ
Доктор физико-математических наук
«28» ноября 2023

В.Ю. Карасев

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: v.karasev@spbu.ru
Тел.: (812) 428-44-66



Документ подготовлен
в порядке исполнения
трудовых обязанностей

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