

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 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, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 27.12.2023г. № 21

О присуждении Светлову Антону Сергеевичу, гражданину Российской Федерации ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Коллоидные системы активных броуновских частиц в тлеющем разряде постоянного тока» по специальности 1.3.9 – физика плазмы принята к защите 26.10.2023 г., (протокол заседания № 14) 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 № 105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель Светлов Антон Сергеевич 1995 года рождения, в 2019 году окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)».

Работает в должности младшего научного сотрудника лаборатории № 17.3. – активных кулоновских систем Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук.

В 2023 году окончил очную аспирантуру Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего

образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)».

Диссертация выполнена в лаборатории №17.3. – активных кулоновских систем Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук.

Научный руководитель доктор физико-математических наук, профессор, академик, директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук Петров Олег Федорович.

Официальные оппоненты:

- доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры Общей Физики I Физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» Карасев Виктор Юрьевич;

- доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник отдела физики плазмы (120) Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук» Голубев Сергей Владимирович

дали положительные отзывы на диссертацию.

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 главным научным сотрудником лаборатории разреженных газов, доктором физико-математических наук Геннадием Ивановичем Сухининым (утвержденном 11.12.2023г. директором академиком Марковичем Д.М.) указала, что научная значимость работы определяется в первую очередь новизной полученных результатов практически по всем направлениям работы. Например, к ним относятся результаты, связанные с экспериментальным исследованием активного

броуновского движения одиночных частиц с различными свойствами поверхности (с поглощением лазерного излучения и без), левитирующих в плазме тлеющего разряда постоянного тока при воздействии лазерного излучения. Также представляет интерес экспериментальное изучение активного броуновского движения частиц в цепочечных структурах и исследование их динамики при воздействии лазерного излучения различной мощности в плазме тлеющего разряда постоянного тока.

Результаты работы могут быть полезны для исследователей из Института теплофизики СО РАН им. С.С. Кутателадзе, Объединенного института высоких температур РАН, Института общей физики им. А.М. Прохорова, МГУ им. М.В. Ломоносова, АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ», Московского физико-технического института и других научных организаций, проводящих исследования в области физики пылевой плазмы.

Соискатель имеет 6 опубликованных работ в рецензируемых научных изданиях, в том числе по теме диссертации опубликовано 3 работы и 12 тезисов в сборниках трудов конференций:

1. Svetlov A.S., Vasiliev, M.M., Kononov, E.A., Petrov, O.F., Trukhachev, F.M. 3D Active Brownian Motion of Single Dust Particles Induced by a Laser in a DC Glow Discharge. *Molecules* 2023, 28, 1790.
2. Светлов А.С., Васильев М.М., Голятина Р.И., Майоров С.А., Петров О.Ф., Активное броуновское движение микрочастиц в тлеющем разряде постоянного тока при воздействии лазерного излучения. *Прикладная физика*, 2023, № 5, с. 53-60.
3. Светлов А.С., Кононов Е.А., Трухачев Ф.М., Васильев М.М., Петров О.Ф., Активное броуновское движение пылевых частиц в квазиодномерных (цепочечных) структурах в тлеющем разряде. *Журнал Экспериментальной и Теоретической Физики*, 2023, том 164, вып. 5, с. 715-721.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (зав. кафедрой теплофизики и ядерной энергетики д.ф.-м.н., доцент Чирков А.Ю.) – отзыв положительный, с замечаниями:

- На стр. 20-21 в тексте описано поведение динамической энтропии. Эти результаты выглядели бы значительно ярче в сопровождении графической иллюстрации. В частности, интересно различие в характере поведения динамической энтропии до и после перехода в режим «в ловушке».

- На стр. 21 отмечается, что нелинейность зависимости активности янус-частиц от интенсивности лазерного излучения может указывать на динамический фазовый переход (переход броуновского движения из баллистического режима в диффузионный). Видимо, данное утверждение соответствует графикам на рис. 4.5, но, к сожалению, пояснения в тексте даны очень кратко.

2. Государственное научное учреждение «Институт физики имени Б.И. Степанова Национальной академии наук Беларуси» (ведущий научный сотрудник центра «Физика плазмы» к.ф.-м.н., Филатова И.И.) – отзыв положительный, с замечанием:

- по материалам автореферата диссертации можно отметить наличие в тексте некоторых неточностей и описок, нечеткие и слишком мелкие, трудно читаемые числовые значения и надписи на некоторых рисунках, что не влияет на содержание работы в целом и не снижает ее достоинств.

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

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается:

- д.ф.-м.н., доцент Карасев В.Ю. является крупным ученым в области экспериментальных исследований плазменно-пылевых структур, находящихся в газовом разряде и помещенных в неоднородное магнитное поле.

1. Карасев В. Ю., Полищук В.А., Дзлиева Е.С., Ермоленко М.А. Деграация поверхности частиц формальдегида в пылевой плазме // Известия РАН серия физическая, Т.87. №10, С.1430-1433, 2023;

2. Карасев В. Ю., Дзлиева Е. С., Майоров С. А., Новиков Л. А., Павлов С. И., Балабас М. В., Крылов И. Р. Распределения полидисперсных пылевых частиц в смесях инертных газов // Физика Плазмы, Т.48, №10, С. 914-918, 2022;

3. Карасев В. Ю., Абдирахманов А. Р., Дзлиева Е. С., Новиков Л. А., Павлов С. И., Досболаев М. К., Коданова С. К., Рамазанов Т. С. Вращение пылевой структуры в сильном неоднородном магнитном поле // Теплофизика высоких температур, Т. 59, № 5, С. 657, 2021.

- д.ф.-м.н., профессор Голубев Сергей Владимирович является признанным специалистом в области физики разрядной плазмы, автор более 150 научных работ, в том числе:

1. Голубев С. В., Водопьянов А. В., Глявин М. Ю., Лучинин А. Г., Разин С. В., Сафронова М. И., Сидоров А. В., Фокин А. П. Концентрация плазмы разряда, поддерживаемого в неоднородном потоке газа мощным излучением терагерцового диапазона частот // Письма в ЖТФ, 43:4 (2017), 10–17;

2. Golubev S.V., Gitlin M.S., Bogatov N.A., Razin S.V. Experimental study of the dynamics of fast gas heating in a low-pressure DC discharge in nitrogen // Plasma Physics and Controlled Fusion, 61 (3), 2019;

3. Golubev S.V., Sidorov A.V., Razin S.V., Safronova M.I., Fokin A. P., Luchinin A.G., Vodopyanov A.V., Glyavin M.Yu. Measurement of plasma density in the discharge maintained in a nonuniform gas flow by a high-power terahertz-wave gyrotron // Physics of Plasmas 23, 043511, 2016.

- Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения РАН наук является профильной организацией, специализирующейся на проведении исследований в области физики пылевой плазмы, включая основы ее применения в технологических процессах, теоретическом и экспериментальном изучении систем многих частиц, моделировании кластеров. В теоретическом отделе ведутся интенсивные работы по изучению пылевых структур в плазменной среде, эволюции плазменных кристаллов и цепочек пылевых частиц.

1. 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*, vol. 26, no. 13, p. 3846, 2021;
2. Sukhinin G.I., Salnikov M.V., Fedoseev A.V., Rostom A. Plasma polarization and wake formation behind a dust particle in an external electric field // *IEEE Transactions on Plasma Science*, vol. 46, no. 4, p. 749-754, 2018;
3. Fedoseev A.V., Demin N.A., Salnikov M.V., Sukhinin G.I. Non-local electron kinetics around the cloud of dust particles // *Contributions to Plasma Physics*, vol. 59, no. 5, p. e201800181, 2019.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

– Показано, что одиночные коллоидные частицы с поглощающей поверхностью под действием лазерного излучения в трехмерной ловушке тлеющего разряда постоянного тока совершают активное броуновское движение, т.е. преобразуют энергию излучения в кинетическую энергию;

– Экспериментально изучена динамика одиночных частиц с поглощающей поверхностью и без поглощения при воздействии лазерного излучения различной плотности мощности в трехмерной ловушке тлеющего разряда постоянного тока. На малых временах частицы демонстрируют баллистический режим движения, начиная с момента времени $t \sim 0.1$ с

наблюдается режим движения «в ловушке» с определенным периодом. Для янус-частиц среднее квадратичное смещение является наибольшим за одинаковый промежуток времени по сравнению с МФ частицами в медной оболочке и без поглощающего покрытия;

– Экспериментально показано, что воздействие лазерного излучения на квазиодномерные (цепочечные) структуры влияет по-разному на структуры из частиц МФ в медной оболочке и из янус-частиц. С увеличением интенсивности лазерного излучения увеличивалась средняя кинетическая энергия коллоидных частиц. Однако, для янус-частиц это изменение было немонотонным;

– С увеличением интенсивности лазерного воздействия для обоих типов частиц в цепочечных структурах за одинаковый временной промежуток наблюдалось увеличение среднее квадратичного смещения. Для янус-частиц это изменение было наибольшим по сравнению с частицами МФ в медной оболочке. Увеличение интенсивности лазерного излучения более чем в четыре раза приводит к изменению характера движения МФ частиц в медной оболочке, на графиках среднее квадратичных смещений от времени наблюдается соответствие режиму супердиффузии, асимптотики которого лежат в промежутке от t до t^2 ;

– Изучен механизм активного броуновского движения частиц в плазме тлеющего разряда постоянного тока при воздействии лазерного излучения. Действие лазерного излучения на частицу может привести к появлению радиометрической силы, связанной с поглощением на поверхности частиц, изучаемые частицы имеют неоднородное покрытие, что в свою очередь приводит к неравномерному распределению температуры по поверхности частицы. В результате интенсивность поступательного и вращательного движения частицы увеличиваются и, таким образом наблюдается активное броуновское движение.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

– Установлено, что уединенные коллоидные частицы с поглощающей поверхностью и в квазиодномерных (цепочечных) структурах под действием лазерного излучения в трехмерной ловушке тлеющего разряда постоянного тока совершают активное броуновское движение, т.е. преобразуют энергию излучения в кинетическую энергию;

– Изучен механизм активного броуновского движения частиц в плазме тлеющего разряда постоянного тока при воздействии лазерного излучения. Явление, приводящее к радиометрическому эффекту, имеет молекулярно-кинетическую природу: сталкивающиеся молекулы газа с более нагретой поверхностью частицы после отскока имеют более высокую кинетическую энергию, чем молекулы, сталкивающиеся с ее менее нагретой областью. Это означает, что молекулы, отражаясь от более нагретой области частицы, придают ей больший импульс, чем молекулы, отраженные от менее нагретой части. Таким образом, возникает спонтанное нарушение симметрии, и частице передается нескомпенсированный импульс, флуктуирующий по величине и направлению. В результате интенсивность поступательного и вращательного движения частицы увеличиваются и, таким образом наблюдается активное броуновское движение.

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

Результаты исследований, представленных в данной работе, затрагивают сразу несколько областей науки, такие как: физика диссипативных структур, физика низкотемпературной, в том числе пылевой плазмы, физика неравновесных систем. Результаты экспериментальных исследований, представленных в данной диссертационной работе, могут оказаться полезными широкому кругу специалистов, в том числе занимающихся изучением физических свойств сильно неидеальных кулоновских систем и разработкой приложений, связанных с их использованием. В частности, для решения актуальных задач, связанных с

оптимизацией транспортных процессов в активных средах.

Знания о динамике и способах управления активными броуновскими частицами могут оказаться полезными для контроля потоков вещества в миниатюрных устройствах, прицельной доставки лекарств или микроустройств к больным органам, разрушения вредных веществ в окружающей среде, при разработке каталитических нано- и микромоторов.

Представляется целесообразным использование результатов настоящей работы в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Объединенный институт высоких температур РАН», Национальном исследовательском центре «Курчатовский институт», Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН», Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ», Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)», Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Федеральном исследовательском центре химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Федеральном исследовательском центре «Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН» и других научных организациях.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что справедливость полученных результатов подтверждается использованием современных методик получения и анализа исходных экспериментальных данных; высокой точностью повторяемости в экспериментах на различных установках и согласием с результатами численных исследований и теоретическими предсказаниями других авторов. Обоснованность выводов и рекомендаций достигается: применением многократно апробированного в научной практике исследовательского и аналитического аппарата,

обсуждением результатов исследования на международных и всероссийских научных конференциях, публикацией результатов диссертационного исследования в рецензируемых изданиях входящих в перечень ВАК.

Личный вклад соискателя состоит в развитии конкретных направлений в рамках обозначенной тематики работы, постановке экспериментов. Основные результаты, изложенные в диссертационной работе, получены автором при проведении экспериментов. Автор принимал активное участие в подготовке и проведении экспериментальных работ, обработке и анализе результатов; автор активно участвовал в совместных обсуждениях и подготовке рукописей к публикации.

Апробация результатов исследования проводилась на 12 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 Светлов Антон Сергеевич ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы, согласился с замечаниями и привел собственную аргументацию.

На заседании от 27.12.2023г. диссертационный совет принял решение за выполнение научной задачи, имеющей значение для исследования активного броуновского движения частиц и структур из них в газоразрядной плазме, присудить Светлову Антону Сергеевичу ученую степень кандидата 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 25 человек, из них очно: 10 докторов наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы и 6 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 24, против 0, недействительных бюллетеней - 1.

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.

27.12.2023г.