

УТВЕРЖДАЮ

Директор Федерального государственного
бюджетного учреждения науки Институт
теплофизики им. С.С. Кутателадзе
Сибирского отделения Российской
академии наук

Академик РАН



Марков

/Маркович Д.М./

«11» декабря 2023г.

ОТЗЫВ

ведущей организации

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

Диссертационная работа Светлова Антона Сергеевича посвящена экспериментальному исследованию активного броуновского движения и динамических свойств активных броуновских частиц в коллоидной плазме тлеющего разряда постоянного тока. Активные броуновские частицы – это частицы, способные преобразовывать энергию окружающей среды в собственную кинетическую энергию. Примеры таких частиц включают бактерии, подвижные клетки и частицы в разрядной плазме. Они могут двигаться независимо или проявлять коллективное движение, а их средняя кинетическая энергия может превышать температуру окружающей среды, что указывает на неравновесность такой системы. В данной работе изучаются активные броуновские частицы в плазме тлеющего разряда постоянного тока. **Актуальность темы диссертации** связана с возможным практическим применением активных броуновских частиц в процессах катализа, в медицине (прицельная доставка лекарств или

микроустройств к больным органам), при создании новых материалов, а полученные фундаментальные данные могут внести вклад в развитие физики неравновесных систем, диссипативных структур и при изучении процессов самоорганизации.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и библиографии. Общий объем работы составляет 110 страниц, включая 34 рисунка и список цитируемой литературы, содержащий 107 наименований.

Введение посвящено общей характеристике диссертации: обоснована актуальность, научная новизна и практическая значимость полученных результатов; сформулированы цели работы и перечислены основные положения, выносимые на защиту; приведены сведения об апробации результатов, основных публикациях, структуре и объеме работы.

В первой главе представлен литературный обзор об активном броуновском движении частиц. Приводится классификация активных броуновских частиц по нескольким критериям: по механизмам движения, по типу активации, по источникам энергии, и т.д. Анализируется современное состояние исследований в коллоидной плазме.

В главе 2 описан модернизированный экспериментальный стенд и комплекс трехмерной диагностики для исследований коллоидной плазмы в тлеющем разряде постоянного тока. Экспериментальный стенд состоит из вакуумной системы, электрической части и диагностического комплекса – газоразрядного аргонового или твердотельного лазера, системы из двух камер высокоскоростной съемки и персонального компьютера для видеозаписи проходящих процессов и последующей обработки полученных данных при помощи пакета специально разработанных программ.

Глава 3 посвящена описанию экспериментальных результатов по активному броуновскому движению уединенных частиц в плазме тлеющего разряда постоянного тока. Проведено исследование динамики таких частиц. В экспериментах использовались сферические пылевые частицы из меламин-формальдегида (МФ) диаметром 5 мкм без поглощающего покрытия, такие же частицы в медной оболочке и такие же частицы, частично покрытые медью (янус-частицы). Получены среднеквадратичные смещения и зависимость средней кинетической энергии движения одиночных частиц от мощности лазера для частицы без поглощающего покрытия, частицы в медной оболочке и для янус-частицы. Обнаружено, что абсолютные значения кинетической энергии янус-частиц всегда больше, чем у покрытых медью частиц. На малом временном масштабе графики среднеквадратичного смещения демонстрируют баллистический режим движения с

асимптотикой $\sim t^2$ для всех типов частиц. Начиная с момента времени $t \sim 0.1$ секунды наблюдается режим движения частицы «в ловушке».

Четвертая глава посвящена исследованию активного броуновского движения частиц в вертикальных цепочечных структурах, находящихся в плазме тлеющего разряда постоянного тока при воздействии лазерного излучения различной плотности мощности, а также изучению динамики частиц в таких структурах. В диссертации рассматриваются квазиодномерные (цепочечные) структуры, содержащие 11 микрочастиц. Все эксперименты проводились при одинаковом давлении буферного газа, скорости подачи рабочего газа, токе и напряжении разряда. Было определено, что движение частиц в кластерах (цепочечных структурах) является активным броуновским.

В Заключении представлены основные результаты диссертационной работы.

Отметим наиболее важные из представленных в диссертации результатов, которые имеют **научную новизну** и представляются **практически значимыми**. 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. Ранее подобные исследования проводились в плазме высокочастотных разрядах.

Материалы диссертации были **апробированы** на 12 международных и российских научных конференциях и семинарах. По теме работы автор имеет **три публикации** в ведущих зарубежных и российских рецензируемых научных журналах из перечня ВАК и входящих в перечень международной базы Web of Science. **Личный вклад автора** не вызывает сомнения.

Результаты исследований затрагивают сразу несколько областей науки, такие как физика диссипативных структур, физика неравновесных систем, физика низкотемпературной и пылевой плазмы. Представленные в данной работе результаты экспериментальных исследований могут оказаться полезными широкому кругу специалистов, в том числе занимающихся созданием новых конструкционных и функциональных материалов, изучением свойств активных коллоидных систем и разработкой приложений, связанных с их использованием. 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. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

По тексту диссертации возникли следующие **замечания и вопросы**:

1. В тексте диссертации присутствует значительное число опечаток, грамматических ошибок, жаргонизмов и повторов.
2. Литературный обзор, представленный в Главе 1, занимает достаточно много места (35 страниц из общего количества 110 страниц), однако, большая часть обзора посвящена описанию исследований активных броуновских частиц в различных областях науки, в то время как упоминанию работ других авторов, посвященных исследованию активного броуновского движения частиц в низкотемпературной плазме газовых разрядов, уделено меньшее внимание.
3. В диссертации приведены результаты экспериментального исследования динамики активных броуновских частиц, как уединенных, так и кластеров, практически при одних и тех же условиях (ток и напряжение разряда, давление буферного газа, размеры частиц, число частиц в кластере). Варьирование данных параметров (в частности, размера частиц и числа частиц) помогло бы более детально разобраться с природой наблюдаемого явления.
4. В третьей главе на графике зависимости кинетической энергии от мощности лазера для покрытых медью пылевых частиц и янус-частиц имеется «скачок», который на этой же странице называется «прыжок». Является ли этот скачок воспроизводимым явлением, а не ошибкой измерений? Как он изменится при других параметрах эксперимента?
5. В диссертации не приведены количественные данные о величинах поглощения лазерного излучения использованных в работе частиц. Известно, что покрытия из чистых металлов (медь, серебро, золото, платина и др.), хорошо отражают, а оксиды металлов (например, CuO), наоборот, поглощают излучение в оптическом диапазоне. Не может ли медное покрытие частиц из меламин-формальдегида, используемых в работе, окислиться в процессе подготовки экспериментов?

6. В диссертации недостаточно обосновано использование динамической энтропии для анализа процесса самоорганизации частиц пылевой плазмы.

7. Следует отметить недостаток сравнения полученных результатов с результатами других авторов, как на количественном, так и на качественном уровне.

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 24.09.2013 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.

Диссертационная работа была обсуждена и одобрена на заседании Секции 4 «Космическая энергетика, разреженные газы, плазма, микро- и наносистемы» Ученого совета Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук 07 декабря 2023 г. Отзыв составлен главным научным сотрудником лаборатории разреженных газов Института теплофизики СО РАН, доктором физико-математических наук Геннадием Ивановичем Сухининым.

Главный научный сотрудник лаборатории разреженных газов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН) 630090, г. Новосибирск, просп. Акад. Лаврентьева, д. 1, Тел. +7(961)225-52-65; 8-383-333-10-95, sukhinin@itp.nsc.ru

д.ф.-м.н., профессор кафедры
«Физики неравновесных процессов»
физического факультета НГУ



Сухинин Геннадий Иванович

11 декабря 2023г.

Ученый секретарь Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии
наук (ИТ СО РАН) 630090, г. Новосибирск, просп. Акад. Лаврентьева, д. 1, Тел.
+7(383)330-90-40, sci_it@itp.nsc.ru

к.ф.-м.н.



Макаров Максим Сергеевич

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики им.
С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН) 630090,
г. Новосибирск, просп. Акад. Лаврентьева, д. 1, Тел. +7(383)330-90-40, www.itp.nsc.ru,
director@itp.nsc.ru