

## ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу Алексеевской Анастасии Александровны «Активные броуновские частицы и их структуры в плазме высокочастотного емкостного разряда», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы

Диссертационная работа Алексеевской А.А. посвящена экспериментальному исследованию динамики активных броуновских частиц и образованных ими структур в плазме высокочастотного разряда емкостного типа. Формирование пылевых частиц в различных плазменных технологических процессах определяет необходимость исследования свойств пылевой плазмы, развитие новых прецизионных методов диагностики и разработку способов управления пылевой компонентой. Кроме того, получение новых данных о характеристиках пылевой плазмы позволят понять природу ряда явлений в космической пылевой плазме, установках термоядерного синтеза с магнитным удержанием и микроэлектронике. Результаты по исследованию формирования структур активных броуновских частиц в пылевой плазме будут полезны при изучении открытых диссипативных коллоидных систем и могут найти свое практическое применение при создании новых материалов, медицине, микробиологии и коллоидной химии. Сказанное выше определяет актуальность диссертационной работы Анастасии Александровны.

Диссертация состоит из Введения, четырех Глав, Заключение и Списка используемой литературы. Общий объем работы составляет 107 страниц, включает 61 рисунок, 5 таблиц и список цитируемой литературы, содержащий 110 наименований.

Во **введении** изложены актуальность темы исследования, цели, задачи и научная новизна работы, выносимые на защиту положения, научная и практическая значимость работы, достоверность и апробация результатов, список публикаций соискателя из 5 научных работ в ведущих зарубежных и российских рецензируемых научных журналах из перечня ВАК, и описание личного вклада автора.

В **первой главе** представлена общая информация о коллоидной плазме, ее свойствах и распространении в природе, о фундаментальных исследованиях в газовых разрядах различного типа, а также представлена информация об активном броуновском движении частиц в пылевой плазме.

Во **второй главе** представлено описание используемого соискателем экспериментального стенда и средств диагностики для изучения свойств коллоидной плазмы. Модификация стенда позволила варьировать параметры пылевой плазмы высокочастотного разряда емкостного типа в широких пределах, а также осуществлять воздействие на исследуемую пылевую структуру лазерным излучением. Для обеспечения формирования протяженных однослойных структур была разработана двухступенчатая система позиционирования. Комплекс высокоскоростных видеокамер позволяет изучать характер движения пылевых частиц, как в горизонтальном, так и вертикальном направлении.

В **третьей главе** представлены результаты экспериментальных исследований по формированию квазидвумерных плазменно-пылевых систем в приэлектродной области высокочастотного разряда. Было продемонстрировано качественное и количественное изменение в характеристиках движения коллоидных частиц в плазме при варьировании внешнего потока энергии. Проведен анализ фрактальной размерности траекторий пылевых частиц. Экспериментально показано, что в зависимости от параметров газового разряда межчастичное расстояние в пылевом монослое может быть однородным по структуре, более разреженным на периферии или более разреженным в центральной части структуры. Приведены результаты исследования поведения плазменно-пылевой среды, образованной различными видами частицам, под действием лазерного излучения. Изучены зависимости распределения скоростей пластиковых частиц с медным покрытием и без покрытия от мощности лазера. Проведен анализ двух сил, действующих на частицы: световое давление и фотофоретическая сила. При этом световое давление приводит к движению в направлении светового пучка, а фотофоретическая сила, которая проявляется в большей степени для частиц с медным напылением, приведет к хаотическому движению этих частиц. Высказано предположение о том, что природа этого явления связана с вращением частиц, а неоднородное распределение температуры изменяет направление действия фотофоретической силы.

В **четвертой главе** представлены результаты исследований динамических и структурных переходов в квазидвумерной системе Янус-частиц в плазме высокочастотного разряда емкостного типа на основе анализа их траекторий, среднеквадратичного смещения, кинетической энергии и дефектов упорядоченной структуры. Было обнаружено, что с увеличением мощности лазера структура частиц сначала становилась более упорядоченной (параметр неидеальности увеличивается,



средняя кинетическая энергия частиц уменьшается), и только начиная с некоторой мощности излучения, структура становилась более «разогретой», чем без облучения.

В целом по диссертации можно выделить два наиболее важных результата:

1. Экспериментально было показано, что в зависимости от параметров газового разряда межчастичное расстояние в плазменно-пылевом слое может быть однородным в радиальном направлении, более разреженным на периферии или более разреженным в центральной части структуры.

2. Было обнаружено новое явление: с увеличением мощности лазера структура частиц сначала становилась более упорядоченной, и только начиная с определенной мощности плазменный кристалл становится более «разогретым», чем без облучения.

В целом в диссертационной работе Алексеевской Анастасии Александровны представлены новые фундаментальные результаты, имеющие потенциал практического применения. Эти результаты могут быть полезны для исследователей из Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе, Объединенного института высоких температур, 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. Личный вклад Алексеевской А.А. обозначен в работе и не вызывает сомнений.

По диссертации возникли следующие замечания:

- 1 В диссертации уделено большое внимание анализу фрактальной размерности траекторий частиц. В связи с этим возникают вопросы, как по формальному анализу размерности, так и по физическому содержанию. В работе не определена процедура определения фрактальной размерности и не указан диапазон масштабов, к которым относится измеренная размерность. В работе не сформулирован вывод о физической природе исследуемых явлений на основе анализа фрактальности траекторий частиц.
- 2 Энтропия строго определена для замкнутых систем. Использование этого термина для открытых систем возможно в рамках линейного приближения слабости сил и потоков. В то же время, для протекания процессов самоорганизации необходимо

уходить в нелинейную область. Поэтому использование термина «динамическая энтропия» требует дополнительных пояснений в приложении к изучаемому явлению.

- 3 На стр. 20 указано, что «для формирования «течения» использовался дополнительный лазерный пучок, генерируемый твердотельным лазером». При этом характеристики лазера не указаны.
- 4 На стр. 4 указано, что (при параметре неидеальности) « $\Gamma \sim 106$  однокомпонентная плазма кристаллизуется». Непонятно точное значение магического числа: 106.
- 5 Стр. 77. «Фотофоретическая сила.... недостаточна для образования ламинарного течения». В диссертации не пояснена причина этого явления.
- 6 Мне оказалось непонятным, почему частицы с медным напылением (медь хороший проводник и хорошо отражает излучение) более эффективно поглощают излучение лазера.
- 7 По тексту есть несколько замечаний редакционного характера.
  - 7.1 На стр. 5 зачем-то указано пояснение на английском языке: «ионного травления («etching»).
  - 7.2 В списке цитируемой литературы в ряде публикаций (статей) не указано их название.
  - 7.3 В диссертации нет расшифровок некоторых сокращений, например, «АБЧ» на стр. 14.
  - 7.4 На стр. 76 и в других местах использован жаргонный термин «продавливающий лазер».

Все перечисленные замечания не снижают общей положительной оценки 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 Алексеевская Анастасия Александровна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы.



Отзыв составил ведущий научный сотрудник лаборатории разреженных газов  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики  
им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН)  
Россия, 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, д. 1, тел.: +7 (383) 333-  
10-95, sanov@itp.nsc.ru

д.ф.-м.н.



Новопашин Сергей Андреевич

«30» ноября 2023г.

Подпись С.А. Новопашина заверяю:

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, itp.nsc.ru,  
director@itp.nsc.ru