

Отзыв

официального оппонента на диссертационную работу
Васильева Михаила Михайловича

“Эволюция открытых диссипативных структур заряженных макрочастиц: методы диагностики и экспериментальные результаты”

представленную на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук
по специальности 01.04.08 – “*Физика плазмы*”

Физика пылевой плазмы находится в зоне повышенных интересов большого числа исследователей уже более двух десятков лет. Резкий всплеск интереса произошел в 1994 году после открытия независимо в четырех лабораториях явления кристаллизации системы заряженных пылевых частиц. Сегодня эти исследования активно продолжаются, что вызвано как уникальными свойствами самой пылевой плазмы, так и уникальными возможностями методов оптической диагностики пылевой компоненты плазмы, связанными с размерами пылевых частиц, удобными для исследований с источниками в видимой области света. Диссертация М.М. Васильева посвящена экспериментальному исследованию эволюции открытых диссипативных структур заряженных пылевых частиц в пылевой плазме. В свете сказанного актуальность темы диссертации не вызывает сомнений.

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения и списка использованной литературы. Во введении обоснована актуальность темы диссертации, научная новизна и практическая значимость решаемых в работе задач, сформулированы цели и задачи. Кратко описаны содержание диссертации и ее структура.

В первой главе описаны оптические методы диагностики пылевой плазмы и методы определения параметров макрочастиц в газоразрядной плазме и плазменно-пылевых образований, сформированных ими. Методы диагностики основаны на регистрации с помощью обычной или скоростной видеокамеры положения пылевых частиц, подсвеченных лазерным излучением с последующей компьютерной обработкой видеоизображений.

Во второй главе описаны использованные в диссертации для изучения пылевой плазмы экспериментальные установки, работающие при комнатной и криогенных гелевых температурах, в том числе уникальная установ-

ка, дающая возможность проведения исследований с пылевыми частицами из сверхпроводящего материала в сверхпроводящем состоянии. Подробно описаны системы визуализации и видеорегистрации положения пылевых частиц.

В третьей главе описаны основные методы обработки экспериментальных видеоданных и восстановления информации о пространственном положении макрочастиц, их траекторий и скоростей движения. Описано восстановление эффективного параметра неидеальности, характеризующего фазовое состояние в неидеальных диссипативных системах, используя структурные свойства макрочастиц. Обсуждается метод определения кинетической температуры пылевых частиц в плазменно-пылевой структуре, а также метод определения кинетической температуры макрочастиц в разных точках пылевой структуры. Для структурной характеристики системы макрочастиц описано получение парной (трансляционной) и ориентационной корреляционных функций. Представлен анализ и определение топологических дефектов для структур макрочастиц.

В четвертой главе выполнены экспериментальные исследования и проведен анализ структурных и динамических свойств пылевых систем в плазме тлеющего разряда постоянного тока низкого давления. Исследованы плазменно-пылевые структуры с автоколебаниями и орбитальное вращение пылевых частиц в разряде постоянного тока при воздействии аксиального магнитного поля с индукцией до 2500 Гс, представлены результаты исследований формирования вихревых плазменно-пылевых структур в тлеющем разряде постоянного тока. В этой главе также представлены экспериментальные результаты исследований формирования цепочечных пылевых структур в плазме тлеющего разряда низкого давления и результаты трехмерной диагностики цепочечной пылевой структуры, сформированной полидисперсными частицами меди, изучено влияние примесей в буферном газе на формирование пылевых цепочек, исследовано формирование пылевых цепочек в криогенной плазме тлеющего разряда низкого давления

В пятой главе представлены результаты экспериментальных исследований и проведен анализ динамических и структурных свойств пылевых образований в плазме высокочастотного емкостного разряда в лаборатор-

ных условиях. Проведены исследования и анализ формирования структур макрочастиц с пылевым течением при воздействии лазерного излучения. Показано, что формирование течения в пылевой структуре из макрочастиц меламин-формальдегида носит пороговый характер. Впервые был подтвержден двухстадийный характер процесса плавления квазидвумерных плазменно-пылевых систем. Путем развернутого анализа асимптотики корреляционных функций, статического структурного фактора, глобальных параметров ориентационного и трансляционного порядка, а также анализа характера возникающих дефектов и изменения их концентрации показано, что процесс плавления происходит с образованием промежуточной гексатической фазы. Это полностью согласуется с теорией Березинского-Костерлица-Таулесса и результатами численного моделирования. Далее описываются эксперименты с малыми кластерами из 7–61 пылевой частицы с медным покрытием. Обнаружено, что сценарий фазового перехода отличается от сценария плавления для протяженных квазидвумерных систем. Показано, что полученные данные и механизм фазовых переходов в рассмотренных кластерах находятся в хорошем согласии с результатами численного моделирования и анализа методом динамической энтропии.

В шестой главе проведены исследования пространственно-упорядоченных структур заряженных макрочастиц из диамагнитного материала при комнатной температуре и из сверхпроводящего материала в сверхпроводящем состоянии при криогенных температурах в статических магнитных ловушках.

В заключении автор приводит основные результаты и выводы диссертационной работы.

По содержанию диссертационной работы Васильева М. М. имеются следующие замечания.

1. При получении бинокулярного изображения облака пылевых частиц, как видно из формулы (1.2), наиболее удобным и простым для последующего анализа является перпендикулярное расположение видеокамер. Отличный от 90° угол между линиями наблюдения видеокамер нигде не используется (для идентификации пылевых частиц используется только динамика движения по z -координате), поэтому было бы

желательно пояснение выбора угла между линиями наблюдения видеокамер, отличного от прямого.

2. Требуется пояснение сильно отличных индикатрис рассеяния для частиц из окиси алюминия диаметром в 10 мкм на рис. 1.8.
3. На рис. 1.10 в левой и правой частях указаны два разных размера пылевых частиц. Что это означает?
4. На стр. 32 есть утверждение, что “Поскольку функция $\frac{E}{p}(pR)$ в тлеющем разряде постоянного тока в области малых значений pR быстро уменьшается (E – электрическое поле разряда, а R – радиус разряда)”. Это неверное утверждение, так как уменьшение pR ведет к увеличению частоты амбиполярного ухода электронов и ионов на стенки разряда, поэтому, чтобы скомпенсировать возросшие потери, возрастет и напряженность электрического поля и, соответственно, E/p .
5. Не указан источник, откуда взята система уравнений (4.1) и нет никакого пояснения, как она получена и в чем ее физический смысл.

Указанные замечания не снижают общей высокой оценки представленных в диссертации исследований. Диссертация М. М. Васильева представляется законченным научным исследованием, в котором на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение. Научная новизна представленных в диссертации результатов исследований связана с тем, что они получены на уникальных установках, некоторые из которых не имеют аналогов в мире, с использованием оригинальных методов диагностики типа системы трехмерной диагностики пылевых структур. В диссертационной работе впервые экспериментально изучены условия формирования плазменно-пылевых структур и исследована эволюция пылевых частиц в плазме криогенного тлеющего разряда постоянного тока при повышении температуры нейтрального газа от 4 до 10 К. Предложен метод формирования кулоновских структур с использованием сверхпроводящих макрочастиц в статических магнитных ловушках в криогенных жидкостях, а также в их парах.

Теоретическая значимость работы определяется большим количеством новых экспериментальных результатов, среди которых стоит отметить следующие: новые данные о динамических характеристиках плазменно-пылевых структур в стратах тлеющего разряда постоянного тока в магнитном поле с индукцией 0–2500 Гс; условия формирования плазменно-пылевых структур и данные о эволюции системы пылевых частиц в плазме криогенного тлеющего разряда постоянного тока; данные о динамическом поведении кулоновских структур из сверхпроводящих макрочастиц в статических магнитных ловушках; динамические и структурные характеристики кластеров из конечного числа пылевых частиц в магнитных ловушках в земных условиях и в условиях микрогравитации; данные о трансляционном и ориентационном порядках в пылевой системе и ее топологических дефектах при фазовом переходе кристалл–жидкость с промежуточной гексатической фазой.

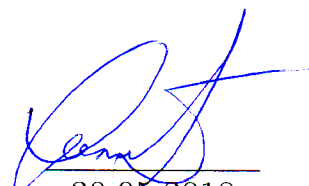
Практическая значимость работы определяется тем, что полученные автором результаты могут быть использованы в Национальном исследовательском центре “Курчатовский институт”, АО “ГНЦ РФ ТРИНИТИ”, АО “ГНЦ РФ–ФЭИ” им. А. И. Лейпунского, Институте Космических Исследований РАН, МГУ им. М. В. Ломоносова, Московском физико-техническом институте (государственном университете), Институте общей физики им. А. М. Прохорова РАН, Объединенном институте высоких температур РАН, Национальном исследовательском ядерном университете “МИФИ” и в других научных организациях, проводящих исследования в области физики пылевой плазмы. Результаты диссертации могут быть использованы для развития методов исследования фазовых переходов в сильнонеидеальных системах, для развития методов диагностики низкотемпературной плазмы и дисперсных сред, в том числе пылевой плазмы.

Результаты диссертационной работы хорошо известны специалистам, докладывались на многих российских и международных конференциях, научных семинарах. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 25 статьях в ведущих отечественных и зарубежных реферируемых журналах по тематике диссертационной работы. Автореферат и опубликованные работы полно отражают содержание диссертации. Лич-

ный вклад Васильева М. М. представляется определяющим, все основные результаты диссертации получены лично им или при его непосредственном участии. Научные положения, выносимые на защиту, хорошо обоснованы и достоверны.

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение в области физики плазмы и физики фазовых переходов. Она соответствует всем критериям, установленным п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней № 842 от 24.09.2013 г. (в редакции от 28.08.2017), а ее автор, Васильев Михаил Михайлович, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.08 – “Физика плазмы”.

Отзыв составил первый заместитель директора отделения – начальник отдела физики неидеальной плазмы отделения Центр теоретической физики и вычислительной математики Акционерного общества “Государственный научный центр Российской Федерации Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований”, д.ф.-м.н Филиппов Анатолий Васильевич




30.05.2018

108840, г. Москва, г. Троицк, ул. Пушковых, владение 12, тел.: 8 (495) 841-52-62, e-mail: fav@triniti.ru

Ученый секретарь АО “ГНЦ РФ ТРИНИТИ”,

к.ф.-м.н

108840, г. Москва, г. Троицк, ул. Пушковых, владение 12, тел.: 8 (495) 841-53-09, e-mail: ezhov@triniti.ru



А. А. Ежов