

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Федерального государственного
бюджетного учреждения науки Института
общей физики им. А.М. Прохорова
Российской академии наук, академик РАН



Щербаков И.А.

2015

ведущей организации на работу Ие Туна «Фазовые переходы в двумерных плазменно-пылевых структурах», представленную в качестве диссертации на соискание ученой степени кандидата физико–математических наук по специальности 01.04.08 – физика плазмы.

Фазовый переход двумерных системах качественно отличается от фазового перехода «твердое тело-жидкость» в трехмерных системах. В настоящее время существуют две основные теоретические модели, используемые для описания плавления двумерных систем. Согласно теории Березинского-Костерлица-Таулесса, переход двумерной системы из кристаллического в жидкое состояние происходит с образованием промежуточной, т.н. гексатической фазы. Однако из-за противоречивости представленных на настоящий момент в литературе экспериментальных и численных результатов можно заключить, что сценарий фазового перехода, имеющий место в двумерных системах, до сих пор не был выяснен.

Пылевая плазма является не только привлекательным для изучения объектом, но и эффективным инструментом для исследования свойств сильно неидеальной плазмы, а также фундаментальных свойств кристаллов, прежде всего благодаря относительной простоте получения, наблюдения и управления параметрами, а также малым временам релаксации к равновесию и отклика на внешние возмущения. Пылевые частицы обычно могут наблюдаться невооруженным глазом или с помощью простейшей оптической техники. Это дает принципиальную возможность проводить измерения на кинетическом уровне с прямым определением функции распределения пылевых частиц по координатам и импульсам. Тем самым, возможно детально исследовать процессы фазовых переходов, процессы переноса пылевых частиц, низкочастотные колебания в пылевой плазме и т.д. на кинетическом уровне.

Диссертационная работа посвящена экспериментальному изучению трансляционного и ориентационного порядка и топологических дефектов, полученных при плавлении пылевого монослоя в слабоионизованной плазме высокочастотного разряда низкого давления.

Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения. Объем диссертации — 116 страниц, включая 21 рисунок и список литературы из 201 наименования.

Во Введении автором обосновывается выбор темы диссертационной работы, и её актуальность, формулируется цель работы и задачи, отмечена научная и практическая значимость работы, представлены положения, выносимые на защиту.

Первая глава носит обзорный характер. В ней вводятся необходимые для дальнейшего изложения понятия и выражения. Рассмотрены основные экспериментальные и численные методы и подходы в изучении свойств и параметров плазменной и пылевой компоненты газоразрядной плазмы. Особенное внимание уделено обзору литературы по исследованиям фазовых переходов в двумерных системах взаимодействующих частиц. Делается вывод о том, что на данный момент не существует экспериментальных исследований, результаты которых уверенно подтверждали или опровергали бы существующие теоретические предсказания о механизме фазовых переходов в двумерных плазменно-пылевых системах.

Во второй главе представлено описание экспериментального комплекса для изучения лазерного разогрева монослойных плазменно-пылевых структур в плазме ВЧ- разряда, включая газоразрядную камеру, газовакуумную систему, и диагностический комплекс; а также дано описание условий и основных параметров экспериментов по изучению процесса разогрева и плавления монослойных плазменно-пылевых структур. Рассмотрены основные способы обработки экспериментальных данных по восстановлению различных пространственных и динамических характеристик пылевых структур, включая методы распознавания координат, траекторий и скоростей пылевых частиц; их кинетической энергии; эффективного параметра неидеальности; пространственной корреляции пылевых частиц, а именно, парной и ориентационной корреляционных функций; а также метод восстановления потенциала межчастичного взаимодействия.

В третьей главе предложен новый способ плавления двумерного пылевого монослоя в плазме, основанный на кинетическом разогреве пылевой компоненты с помощью лазерного излучения. Особенности такого подхода являются неизменность параметров ионной, электронной и нейтральной компонент плазмы, а также соблюдение локального равновесия для пылевой компоненты плазмы. В главе представлены первые результаты экспериментального наблюдения двухстадийного процесса плавления монослойной структуры пылевых частиц в плазме вч газового разряда низкого давления. Это первое прямое свидетельство существования фазовых переходов между кристаллом и гексатической фазой и между гексатической фазой и жидкостью в физически реализованной экспериментальной квазидвумерной плазменно-пылевой системе. Данные результаты были получены автором на основе анализа статических и динамических свойств

двумерного пылевого слоя, образующегося в плазме приэлектродного слоя емкостного высокочастотного разряда.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА

Из основных результатов диссертации отметим следующие:

1. Создан экспериментальный стенд для изучения фазовых переходов в двумерной плазменно-пылевой системе.
2. Получены новые результаты экспериментального изучения фазового перехода в двумерной плазменно-пылевой системе, включая трансляционный и ориентационный порядок и топологические дефекты.
3. Впервые экспериментально обнаружена промежуточная (гексатическая) фаза при фазовом переходе в двумерной плазменно-пылевой системе.
4. Получены новые результаты восстановления потенциала взаимодействия при экспериментальном изучении фазового перехода в двумерной плазменно-пылевой системе.

НАУЧНАЯ ЗНАЧИМОСТЬ

Научная ценность диссертации состоит в разработке нового способа плавления двумерного пылевого монослоя в плазме, основанный на кинетическом разогреве пылевой компоненты с помощью лазерного излучения; а также в экспериментальном подтверждении теории Березинского-Костерлица-Таулесса о двухстадийном характере процесса плавления двумерных систем на примере плавления кристаллического монослоя пылевых частиц в плазме.

ДОСТОВЕРНОСТЬ

Достоверность результатов базируется на использовании хорошо апробированных современных экспериментальных методов диагностики.

ВОСТРЕБОВАННОСТЬ

Результаты экспериментальных исследований, представленных в диссертации, могут быть полезны широкому кругу специалистов, занимающихся изучением физических свойств физических свойств сильнонеидеальных кулоновских систем, в том числе сильнонеидеальной пылевой плазмы, и разработкой их приложений. Представляется целесообразным использовать результаты работы в Объединенном институте высоких температур РАН, Российском научном центре "Курчатовский институт", Физическом институте РАН, Московском энергетическом институте, Московском физико-техническом институте, Институте химической физики РАН, Московском инженерно-физическом институте, Институте проблем механики РАН и других научных организациях.

ЗАМЕЧАНИЯ

1. В результате обработки экспериментальных данных корреляционные функции были построены для расстояний не превышающих 8-12 средних

межчастичных расстояний, что соответствует ансамблю из порядка 100 частиц. С чем связано столь относительно небольшое количество частиц? Ведь в Главе 2 диссертационной работы показано, что в эксперименте наблюдался монослой, состоящий из 10 тысяч пылинок. Поскольку именно асимптотическое поведение ориентационной корреляционной функции определяет фазовое состояние двумерной системы, то увеличение числа обрабатываемых частиц в эксперименте является важным с точки зрения достоверности результатов диагностики, так как позволило бы пронаблюдать асимптотическое поведение корреляционных функций на больших расстояниях (до 30-50 межчастичных).

2. Система одноименно заряженных пылевых частиц в горизонтальном направлении удерживается внешним электрическим полем ловушки. Вместе с тем, внешнее поле возмущает структуру таким образом, что среднее расстояние между пылевыми частицами в центре структуры оказывается меньше чем на периферии (см. рисунок 2.5). Из текста диссертации не ясно, как влияет радиальная пространственная неоднородность "кристаллической" структуры на характер ее плавления. Плавление начинается с центра или с края монослоя?

4. Диссертационная работа посвящена определению сценария плавления квазидвумерной структуры. В работе делается вывод, что переход системы из кристаллического состояния в жидкое происходит в соответствии с теорией Березинского-Костерлица-Таулесса (ВКТ), т.е. носит двухстадийный характер с образованием промежуточной, фазы. Представляет интерес дополнительное сравнение результатов с альтернативной теорией плавления двумерных систем (Grain-Boundary-Induced melting (GBI), основанной на формировании границ раздела.

3. Теория Березинского-Костерлица-Таулесса (ВКТ) была разработана для двумерных систем взаимодействующих частиц. Анализируемая в диссертационной работе плазменно-пылевая система является трехмерной (несмотря на то, что пылевые частицы образуют монослой) в том смысле, что все три компонента импульса пылевых частиц отличны от нуля, причем как правило в подобных экспериментах энергия поперечных колебаний пылевых частиц выше чем в плоскости слоя. Вопрос о границах применимости теории ВКТ к такой квази двумерной системе остается открытым.

5. Известно, что профиль лазерного луча неоднороден по интенсивности и может быть аппроксимирован гауссовской функцией распределения. Из текста диссертации не ясно, как выполнялось и выполнялось ли условие пространственной однородности нагрева пылевой структуры с помощью лазерного луча.

Отметим, что все замечания носят рекомендательный характер и не умаляют ценности представленной работы.

В целом работа представляет собой законченный труд, в котором получен ряд важных результатов как фундаментального, так и прикладного характера. Диссертационная работа Йе Туна «Фазовые переходы в двумерных плазменно-пылевых структурах» полностью соответствует требованиям ВАК РФ положения № 842 от 13.09.2013 пункт 9, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 – физика плазмы.

Автореферат правильно отражает содержание диссертации и опубликованных работ автора.

Отзыв составлен ведущим научным сотрудником, доктором физ – мат. наук С.А. Майоровым, утвержден на ученом совете теоретического отдела Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук, протокол № 7 от 21 октября 2015 г.

Д.ф.м.н., в.н.с.



Майоров С.А.

Председатель Ученого совета
теоретического отдела, д-р физ.-мат. наук



Гусейн-заде Н.Г.

Ученый секретарь, Ученого совета
теоретического отдела, д-р физ.-мат. наук



Стрелков В.В.

119991, Россия, г. Москва, ул. Вавилова, 38
В.н.с. теоретического отдела ИОФ РАН, д.ф.-м.н. Майоров С.А.
эл. почта: mayorov_sa@mail.ru, раб.тел.: +7 (499) 135-0247

Зав. теоретического отдела ИОФ РАН, д.ф.-м.н. Гусейн-заде Н.Г.
эл. почта: namik@fpl.gpi.ru, раб.тел.: +7 (499) 135-0247

В.н.с. теоретического отдела ИОФ РАН, д.ф.-м.н. Стрелков В.В..
эл. почта: strelkov.v@gmail.com, раб.тел.: +7 (499) 135-0247