

## Отзыв

официального оппонента на диссертационную работу  
Йе Туна

### “Фазовые переходы в двумерных плазменно-пылевых структурах”,

представленную на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук  
по специальности 01.04.08 – физика плазмы

В настоящее время физика пылевой плазмы вызывает повышенный интерес исследователей, что связано с ее широкой распространенностью в природе и в лабораторных плазменных установках, а также с возможностью изучения многих процессов на кинетическом уровне и с возможностью достижения высоких значений параметра неидеальности. В последние годы особенный интерес вызывают исследования фазовых переходов как в трехмерных, так и в двумерных системах. Диссертация посвящена исследованию фазовых переходов в двумерных плазменно-пылевых структурах и экспериментальному определению потенциала взаимодействия пылевых частиц, поэтому актуальность темы диссертации не вызывает сомнений.

Диссертация состоит из введения, 3-х глав и списка использованной литературы, разбитый по главам. Во введении обоснована актуальность темы диссертации, научная новизна и практическая значимость решаемых в диссертационной работе задач, сформулированы цели и выносимые на защиту научные положения.

Первая глава имеет обзорный характер, в которой рассмотрены основные экспериментальные и численные методы исследования свойств пылевой плазмы, приведен обзор работ по исследованию фазовых переходов в двумерных системах взаимодействующих заряженных пылевых частиц.

Во второй главе приводится подробное описание экспериментальной установки и методов обработки экспериментальных данных. В третьей главе приводятся экспериментальные данные по фазовым переходам в двумерной плазменно-пылевой системе. Сообщается о наблюдении плавления двумерной плазменно-пылевой системы и об обнаружении промежуточной (гексатической) фазы при фазовом переходе в двумерной плазменно-пылевой системе. В последнем разделе главы 3 приводятся результаты восстановления потенциала взаимодействия по данным, полученным при экспериментальном изучении фазового перехода в двумерной плазменно-пылевой системе.

В заключении автор приводит основные результаты диссертационной работы.

*Основными достижениями автора следует признать следующие:*

1. Экспериментальное обнаружение промежуточной (гексатической) фазы при фазовом переходе в двумерной плазменно-пылевой системе.

2. Экспериментальное доказательство того, что сила межчастичного взаимодействия для всех фазовых состояний пылевой подсистемы, наблюдаемых в эксперименте, хорошо описывается дебаевской зависимостью.
3. Использование для экспериментального изучения фазового перехода в двумерной плазменно-пылевой системе парных и ориентационных корреляционных функций, а также добавки к энтропии, связанной с корреляционными функциями пылевых частиц.

При рассмотрении диссертационной работы Йе Туна следует остановиться и на имеющихся в ней недостатках:

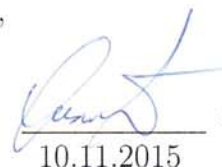
1. На стр.47 автор ссылается на тезисы доклада [2.1] объемом не более А5 при указании на специально разработанный алгоритм на основе метода Фурье-фильтрации для корректного восстановления траекторий движения пылевых частиц и их скоростей. Этот алгоритм является основой обработки экспериментальной графической информации и получения всех экспериментальных данных, поэтому должен был быть описан более подробно, чтобы можно было судить о степени достоверности представленной в диссертационной работе данных.
2. Формулы (2.1) для определение скоростей движения пылевых частиц содержат операцию численного дифференцирования, которая является некорректной. В диссертационной работе не указано, использовались ли какие-либо методы регуляризации для решения данной проблемы.
3. Формула (2.6) для определения ориентационной корреляционной функции и ее последующее описание содержит ошибки, хотя в статье в ЖЭТФ, где в 2015 г. опубликован материал этой главы, все правильно описано. Определение этой корреляционной функции включает произведение комплексных величин в разных точках пространства, поэтому необходимо было обсудить, почему функция  $g_6$  оказывается действительной.
4. На больших расстояниях  $r$  двухчастичная корреляционная функция  $g_2$  стремится к единице, поэтому непонятно утверждение, что пики корреляционной функции  $g_2$  описываются степенной функцией  $(r/r_p)^{-n}$  или экспонентой  $e^{-\mu r/r_p}$ . Пики отсчитывались от единицы? На рис.3.5 приводятся отрицательные значения  $\mu$ , что с учетом определения чуть выше подразумевает экспоненциальный рост пиков.
5. Автор использует зависимость от приведенного параметра неидеальности добавки к энтропии, связанной с корреляционными функциями пылевых частиц,

а именно с  $g_2$ , как дополнительный аргумент в пользу двухстадийности процесса плавления двумерной плазменно-пылевой системы. При этом из описания рис.3.9 с этой зависимостью неясно, что за сплошные кривые 1 и 2 на нем приведены.

Отмеченные недостатки, однако, не влияют на общую высокую оценку рассматриваемой работы. Автор проделал большую работу, полученные в диссертации результаты и выводы обоснованы и достоверны, что подтверждается тщательностью проведения экспериментов и обоснованными оценками. Личный вклад Йе Туна представляется определяющим, все основные результаты диссертации получены при его непосредственном участии. В целом диссертация Йе Туна представляется законченным научным исследованием, которое вносит заметный вклад в развитие физики низкотемпературной плазмы. Полученные в ней результаты имеют принципиальную новизну и практическую ценность для понимания процессов при фазовых переходах. Результаты диссертации известны специалистам, достаточно полно представлены в публикациях в научных изданиях и докладывались на отечественных и зарубежных научных конференциях. Автореферат диссертации полностью отражает содержание диссертации.

На основании вышеизложенного можно заключить, что диссертационная работа Йе Туна **“Фазовые переходы в двумерных плазменно-пылевых структурах”**, представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 – *физика плазмы*, полностью соответствует критериям, установленным действующим *“Положением о порядке присуждения ученых степеней”* №842 от 24.09.2013 г., а сам Йе Тун безусловно заслуживает присуждения ему искомой степени по специальности 01.04.08 – *физика плазмы*.

Д.ф.-м.н., начальник отдела Акционерного общества  
«Государственный научный центр Российской Федерации  
Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований», Россия, 142190 г. Троицк,  
г. Москва, ул. Пушкиновых, владение 12,  
эл. почта: fav@triniti.ru, раб. тел +7 (495) 8415262



А.В. Филиппов

10.11.2015

Подпись А.В. Филиппова заверяю:

Ученый секретарь АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ»

кандидат физико-математических наук



А.А. Ежов