

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу
Николаева Владислава Сергеевича

«Динамические свойства и фазовые переходы в неоднородных плазменно-пылевых системах»

на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 1.3.9 – физика плазмы

Плазма с конденсированной дисперсной фазой широко распространена в природе – в космосе, в ионосфере Земли, в приповерхностных областях космических объектов – и активно исследуется в лаборатории. Долгое время лабораторные исследования пылевой плазмы были нацелены на развитие аналогии между пылевыми структурами, доступными для прямого визуального наблюдения, и конденсированным веществом. Широко известен термин «плазменно-пылевой кристалл». Для удержания заряженных частиц в таких «кристаллах» в общем случае необходим конфайнмент, или удерживающая электростатическая или электродинамическая ловушка. Николаевым В.С. в диссертационной работе рассматривается частный случай параболического профиля конфайнмента и его влияния на динамические свойства систем заряженных частиц.

Диссертационная работа Николаева В.С. состоит из введения, 5 глав, заключения и списка использованной литературы. Общий объем диссертации 115 страниц, в том числе 30 рисунков. Библиография включает 125 наименований.

Диссертационная работа соответствует специальности 1.3.9 – Физика плазмы. По результатам работы опубликовано 10 статей в ведущих отечественных и зарубежных журналах, сделаны устные и постерные доклады более чем на 30 отечественных и международных конференциях.

Диссертация посвящена расчетно-теоретическому исследованию влияния параболического конфайнмента на пространственное распределение динамических свойств и сценарий плавления систем заряженных частиц с сильно экранированным потенциалом взаимодействия. В диссертации обосновывается локальный подход к расчету характеристик таких систем без усреднения рассчитываемых свойств по всей структуре.

Введение содержит основные пункты, соответствующие требованиям ВАК: обоснование актуальности темы диссертации, научной новизны и практической значимости решаемых в работе задач, формулировку целей и задач работы. Сформулированы также основные положения, выносимые на защиту.

В главе 1 дан литературный обзор основных работ, используемых в диссертации. Обзор касается основных подходов к теоретическому описанию взаимодействия пылевых частиц в пылевой плазме, критериев плавления, используемых для пылевых систем, а также положений метода классической молекулярной динамики.

В главе 2 описываются содержательные результаты диссертационной работы. Приведен математический вывод аналитических выражений, описывающих радиальный профиль амплитуды тепловых колебаний, параметров Линдемманна и неидеальности в системе сильно экранированных зарядов в параболической ловушке. Ключевым элементом вывода – приближенное выражение для эйнштейновской частоты, которое и определяет границы применимости полученных формул. В главе показано, что вследствие структурной неоднородности, вызванной влиянием конфайнмента, в системе возникает и неоднородность динамических свойств.

Глава 3 посвящена методам компьютерного моделирования систем заряженных частиц, используемым в главах 4 и 5 диссертации. Отмечу, что, несмотря на широкую распространенность описанных в главе 3 подходов, их обширное сравнение редко встречается в литературе и является положительной особенностью диссертации. Локальный подход, который используется при расчете структурных и динамических свойств, подробно описан и обоснован.

В главах 4 и 5 описаны результаты компьютерного моделирования динамических свойств и фазовых переходов в системах заряженных частиц в параболическом конфайнменте. Примечательно, что описываемая автором неоднородность проявляется в системах с различной структурной конфигурацией: цепочечных, однослойных, трехмерных. Показано, что помимо амплитуды тепловых колебаний, существенно отличаются и спектры колебаний частиц в различных областях системы. На основании этого делается вывод о том, что система должна рассматриваться не как целое, а как совокупность подсистем, обладающих принципиально различными характеристиками. Приведено достаточно наглядное сравнение теоретических результатов с экспериментальными данными индийского коллектива, из которых следует пространственная неоднородность свойств плазменно-пылевого монослоя. Далее в главе 5 показано, что такая неоднородность естественным образом приводит и к неоднородному плавлению такой системы. Локальный критерий плавления, сформулированный с использованием параметра флуктуации межчастичного расстояния, позволяет достаточно точно определить положение фронта плавления в системе. Отдельно рассматривается влияние эффекта ионного фокуса на сценарий плавления плазменно-пылевого монослоя. Описан интересный режим, в котором плотное расплавленное ядро сосуществует с упорядоченными оболочками. Полученные результаты в совокупности указывают на существенное влияние конфайнмента на наблюдаемые свойства системы, на чем ранее внимание не акцентировалось.

В заключении сформулированы выводы из диссертационной работы.

Диссертационная работа безусловно является объемным и содержательным научным исследованием. Новизна и достоверность результатов не вызывают сомнений. Вместе с тем, к диссертации имеется ряд замечаний:

1. Хотелось бы увидеть более подробное пояснение обозначенных в главе 2 границ применимости используемых аналитических соотношений, в том

числе по степени экранировки кулоновского потенциала. В частности, указано, что выведенные формулы применимы в случае, если $k\Delta > 1$. Данное ограничение в общем случае соответствует рассматриваемым в работе пылевым системам, однако следовало бы указать, чем оно обусловлено.

2. В диссертационной работе автор рассматривает неоднородные плазменно-пылевые системы. Часто при рассмотрении плазменно-пылевых систем в экспериментальных установках используют однородное приближение. При этом удается давать достаточно точное теоретическое описание наблюдаемых величин. Возникает вопрос: насколько важным является рассмотрение неоднородных систем, и насколько учет неоднородности позволяет повысить точность описываемых в теории величин.
3. Расчет параметра флуктуации межчастичного расстояния (в работе – IDF) ведется для локального окружения частицы, включающего только ближайших соседей. С использованием такого подхода определено критическое значение параметра при плавлении. Возникает вопрос, как на критическое значение повлияет включение дополнительных частиц в расчет параметра?
4. В диссертационной работе рассматриваются системы, содержащие конечное число частиц. Что будет происходить с системой зарядов при увеличении числа частиц?
5. Параболический профиль ловушки является частным случаем формы удерживающего потенциала, применимым, в частности, при достаточно малом размере системы и небольшом удалении частиц от центра ловушки. С удалением от центра начинают проявляться ангармонические члены. Как ангармонические члены повлияют на характер полученных результатов?

Отмеченные недостатки, однако, не умаляют значимости полученных результатов и могут рассматриваться как рекомендации. Автореферат диссертации полностью соответствует ее содержанию. Научный уровень работы безусловно высокий и вносит большой вклад в физику пылевой плазмы и физику плазмы в целом.

Полученные в диссертационной работе результаты могут быть использованы широким кругом специалистов, занимающихся изучением свойств систем заряженных частиц, пылевой, коллоидной, однокомпонентной плазмы. В работе представлено решение ряда актуальных задач, которые могут использоваться как для дальнейшего развития теоретических моделей, так и для развития методики обработки экспериментальных данных. Результаты работы целесообразно использовать в Институте космических исследований РАН, Объединенном институте высоких температур РАН, Физическом институте им. П.Н. Лебедева РАН, Национальном исследовательском центре «Курчатовский институт», МГУ им. М.В. Ломоносова, АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ», Институте общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Московском физико-техническом институте, Национальном

исследовательском ядерном университете «МИФИ» и в других научных организациях, проводящих исследования в области физики пылевой плазмы.

Результаты диссертационной работы хорошо известны специалистам, докладывались более чем на 30 российских и международных конференциях, опубликованы в 10 статьях в высокорейтинговых отечественных и зарубежных журналах. Автореферат и опубликованные работы полностью отражают содержание диссертации. Личный вклад Николаева В.С. явно обозначен в работе и не вызывает сомнений.

Содержание диссертационной работы соответствует паспорту специальности 1.3.9 – Физика плазмы. 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 Николаев Владислав Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9 – Физика плазмы.

Отзыв подготовил научный сотрудник лаборатории плазменно-пылевых процессов в космических объектах Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН) к.ф.-м.н.

А.Ю. Дубинский
14.09.2022

Дубинский Андрей Юльевич
117997, г. Москва, ул. Профсоюзная 84/32,
тел.: 8 (495) 333-5212, e-mail: nfkpb@bk.ru

Подпись А.Ю.Дубинского заверяю:

Ученый секретарь ИКИ РАН к.ф.-м.н.



Садовский А.М.