

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию 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.

В настоящее время благодаря уникальным свойствам, пылевая плазма успешно используется для решения как фундаментальных, так и прикладных задач, оформившись тем самым, в значимую и самостоятельную область знаний. Изучение фазовых переходов в системах пылевых структур дает полезную информацию о критических явлениях и процессах самоорганизации. Целью представленной работы являются исследования условий формирования, состояния и структурных особенностей упорядоченных объемных образований в пылевой плазме и в пылевых кластерах – изучение эволюции диссипативных структур на примере пылевой плазмы и кулоновских систем. Несомненно, тематика диссертации *актуальна*, экспериментальные результаты, полученные в работе, являются современным отражением данной науки.

Основные результаты работы отражены в достаточно большом числе публикаций в журналах из Перечня ВАК и представлены в материалах различного уровня отечественных и международных конференций. Информация об этом приведена во Введении диссертации. Сама диссертация изложена на 211 страницах, имеет 111 рисунков и 225 цитируемых источников.

Диссертация состоит из Введения, шести Глав, Заключения и Списка литературы. Во Введении описаны номинально требуемые атрибуты работы: актуальность, новизна, значимость, апробация, публикации, цель работы, личный вклад, а также положения, выносимые на защиту. Я буду обсуждать содержание диссертации не по порядку расположения глав, а по моему представлению о значимости описанных в ней результатов.

Самая интересная глава диссертации, на мой взгляд, – *Глава 5*. Она самая короткая, состоит из двух разделов, но по подаче материала самая совершенная. В ней экспериментально решен вопрос о сценарии фазового перехода 1 рода в системах размерности 2D, а именно, получено доказательство существования гексатической фазы, не существующей в системах 3D размерности.

Говоря об истории экспериментов, где наблюдения производились в пылевой плазме, можно отметить способы плавления: посредством увеличения мощности, вкладываемой в разряд; уменьшения давления, как следствие, уменьшения теплоотвода; а также наложение магнитного поля. Каждое из перечисленных воздействий оказывало влияние в первую очередь на разряд. В представленной работе использовано воздействие только на пылевую систему. Оно реализовано за счет поглощения частицами со специальным покрытием светового излучения, прозрачного для плазмы. Кроме того,

сечение пылевой структуры имеет достаточно большой размер, так что при обрезании краевых частиц построенные парная и ориентационная функции не теряют информативности. Полученный результат важен для нескольких разделов физики.

Очень хочется задать автору принципиальный вопрос, касательно значения нового результата. **Подход к плавлению, основанный на GBI теории больше не существует, или возможна ситуация, когда он имеет преимущество перед КТНУ теорией?**

И еще вопрос, **вектор Бюргерса в случае пылевой плазмы не эффективен?** Например, рис.21 уверенно показывает, что существуют дефекты, не влияющие на него.

Наиболее близкий раздел диссертации к моим научным интересам – это *Глава 4*, ее первая часть. Автор впервые проводит эксперимент с пылевой плазмой, сформированной в ловушке в страте в тлеющем разряде под воздействием сильного магнитного поля. Тут разумно было бы привести оценки степени воздействия магнитного поля в используемом диапазоне до 2500 Гс. Например, в водороде при давлении $p=0.1$ торр в этом диапазоне поля оказываются замагниченными и ионы и электроны.

В своем эксперименте автор воспроизвел эффект инверсии угловой скорости вращения горизонтальных сечений пылевой структуры в магнитном поле без изменения его направления. Это очень важно, поскольку ранее был получен этот неочевидный результат, требующий независимого подтверждения, а также верной теоретической интерпретации.

Помимо измерения скорости вращения, автором получены интересные данные о массопереносе, кинетической температуре и параметре неидеальности в магнитном поле индукцией до 300 Гс, рис. 4.2-4.4. Но по ним возникает естественный вопрос о роли магнитного поля, **сравнении результатов со случаем отсутствия магнитного поля**, которое в этом диапазоне может вызывать не монотонные зависимости?

Касательно динамики вращения, автор обнаруживает инверсию при поле 500 Гс в условиях газ неон, давление 0.25 Торр и сопоставляет с исследованием, проведенным в СПбГУ, где поле инверсии было около 200 Гс. В частности, рис.4.8 показывает количественное не соответствие поведения пылевой структуры при вращении в двух экспериментах. В этом плане, я бы хотел сделать **замечание, касательно ссылок на литературные работы** по данной задаче. Если бы появившиеся в последние 2-3 года работы были представлены, например [EPL, **110** (55002) 2015], где содержатся результаты зондирования разряда пробными частицами в применяемой для данной задачи разрядной трубке, то данное противоречие должно было быть снято. В работах СПбГУ имелась разрядная вставка, вблизи которой возникает вращение газа, вовлекающее пылевые образования во вращение с положительной проекцией угловой скорости на направление магнитного поля. В силу этого механизма, инверсия в эксперименте наступала при меньшем магнитном поле. Также я бы считал не лишним включение ссылок на работы Е.Томаса, проводимые в сильном магнитном поле.

Обсуждая механизмы вращения, автор говорит о поиске верной интерпретации. Несомненно, большая заслуга работы в том, что было найдено верное объяснение инверсии. Это конкуренция силы ионного увлечения (с отрицательной проекцией угловой

скорости на вектор магнитной индукции) и увлечения вращающимся газом из-за наличия вихревого электронного тока в стратах (с положительной проекцией). Повторю, что в случае нахождения диэлектрической вставки появляется третий механизм, дающий положительную проекцию вращения.

На мой взгляд, принципиально важно то, что проведенное диссертантом исследование динамики пылевых структур в тлеющем разряде в магнитном поле послужило весомым этапом для решения данной задачи. А также, для прямого доказательства существования вихревого электронного тока в стратах.

В Главе 6 описано использование частиц с магнитными характеристиками для создания упорядоченных структур и кластеров в неоднородном магнитном поле. Эти работы пионерские, я думаю, что они создают задел для нового направления исследований, использующих и равновесные системы, в отличие от пылевой плазмы. Особенно интересны эксперименты в условиях микрогравитации. Я подчеркиваю важность и уникальность представленных здесь исследований. Вопросов по Главе 6 не формулирую.

В Главе 3 содержится описание методов, используемых в диссертации, для определения положений и скоростей, а также связанных с ними физических параметров пылевых частиц. В начале Главы автор подчеркивает проблему надежности определения позиций частиц, в частности, вопрос «мигания» образов частиц, на устранение которого направлены значительные ресурсы программного характера. Можно было бы спросить, поскольку не совсем ясно из приведенного описания, **использовались ли в оптической схеме фильтры, возможно, интерференционные, для подавления фоновой засветки из разряда?** Вероятно, это первый способ убрать мерцание образов, причем, не внося аппаратных изменений в структуру образа частицы на ПЗС/КМОС матрице.

Главы 1 и 2 диссертации описывают общие методы диагностики, используемые при экспериментальном исследовании пылевой плазмы, а также лабораторные установки (стенды), созданные для изучения в разрядах двух типов.

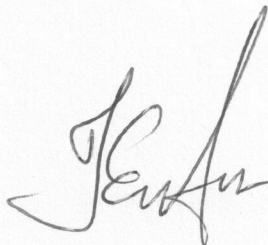
Касательно самой диссертационной работы нужно сказать, что автором выбран очень разумный вариант написания, при котором нет как таковых литературных обзоров. Их могло быть несколько для совершенно различных технических задач, объединенных единой тематикой диссипативных структур заряженных частиц. В итоге, работа не занимает неоправданно большого объема, а содержит только новые и интересные научные результаты. Она прекрасно иллюстрирована, производит крайне положительное впечатление. При этом число опечаток минимальное.

В *Заключении* автор сформулировал основные результаты работы, которые нашли отражение в защищаемых положениях. В целом диссертация производит хорошее впечатление, в первую очередь значительными результатами и их новизной. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Диссертация написана ясным языком, сделанные замечания и вопросы (выделены жирным шрифтом) не снижают ее значимости. Все результаты являются новыми, имеющими значительную научную и практическую ценность. Диссертация представляет

собой законченную научную работу, которая соответствует всем критериям, установленным п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней № 842 от 24.09.2013 г., а ее автор Васильев Михаил Михайлович заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.08 – физика плазмы.

Отзыв составил профессор
Физического факультета СПбГУ
д.ф.-м.н.
vkarasev@spbu.ru



Карасев Виктор Юрьевич

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Санкт-Петербургский государственный университет (СПбГУ), Россия, 199034, Санкт-Петербург, Университетская набережная 7-9, (812) 328-20-00, spbu@spbu.ru

Личную подпись заверяю
начальник отдела кадров №3

Н. И. М...

08.05.2018



Документ подготовлен
в порядке исполнения
трудовых обязанностей