

## ОТЗЫВ

официального оппонента  
на диссертационную работу Родина Михаила Максимовича  
«Развитие теории электростатического взаимодействия  
заряженных тел на малых расстояниях между ними»  
на соискание ученой степени кандидата физико-  
математических наук по специальности  
1.3.9 – физика плазмы

Диссертация Родина Михаила Максимовича посвящена развитию методов электростатического взаимодействия заряженных тел конечных размеров и разработке новых методов определения основных характеристик системы из пары взаимодействующих заряженных частиц. Нацеленность данной теоретической и вычислительной работы на возможность применения методов для решения актуальных задач фундаментального характера: поиск сил притяжения в пылевой и коллоидной плазмах, коагуляция порошков и наноразмерных частиц, исследование вращательной диффузии в лабораторной и космической пылевых плазмах, несомненно, вызывает интерес к работе. Детальное решение задач в изолированной системе электрических зарядов позволяет по результатам работы интерпретировать имеющиеся в литературе экспериментальные данные на предмет разделения роли потоков плазмы, или чисто электростатической системы для задач, требующих сегодня решения. Несомненно, что тема рецензируемой диссертации является **актуальной**, перечисленные задачи это показывают.

### Структура диссертации

Во **Введении** описан изучаемый объект, сформулирован выбор последовательных задач для решения поднятой в диссертации проблемы. Сформулирована цель работы, описана актуальность тематики и поставлена задача. Указаны научная новизна и значимость работы. Сформулированы защищаемые научные положения. Описана апробация работы и приведен список публикаций автора, его личный вклад. Сама диссертация состоит из Введения, 3 Глав и Заключения, она изложена на 92 страницах, содержит 18 рисунков, 1 таблицу и список литературы на 48 позициях и Приложения.

В **Главе 1** описаны исследования электростатические взаимодействия пары заряженных частиц конечных размеров, находящихся на близкой дистанции, в случае «слабого и умеренного экранирования». Используется постоянный потенциал поверхностей, что связывает задачу с плазмой, где объекты находятся под плавающим потенциалом.

Во-первых, в главе находятся емкости частиц. Во-вторых, по потенциалам поверхности вычисляются текущие заряды частиц и используются для нахождения силы взаимодействия.

**Глава 2** посвящена отысканию емкостных коэффициентов пары частиц в вакууме и однородном диэлектрике, в ней содержится метод решения данной проблемы. В используемом методе разложения потенциалов на малых расстояниях, меньших радиусов частиц, возникают проблемы с точностью, которые автор решает.



Графики наглядно демонстрируют результаты и расчета потенциалов от межчастичных расстояний, и отклонение проводимых вычислений от расчетов в бисферической системе координат и при постоянных зарядах частиц. Эти данные позволяют принципиально уменьшить ошибку расчетов. Автор выбирает оптимальный способ вычисления.

Заключительная **Глава 3** посвящена изучению взаимодействия трех заряженных частиц, к модели двух предыдущих добавляется точечный, но не элементарный заряд. Конфигурация, возможно, более близка к реальным условиям, теряется осевая симметрия, и рассматриваются частицы разных размеров.

Вычисляются силы электростатического взаимодействия между парой частиц, а также моменты сил в связи с возможностью появления вращения частиц вокруг центра инерции.

Автор последовательно описывает используемые методы, их сложности. Далее представляются основные вычислительные результаты. Это силы, действующие на две микрочастицы (в присутствии точечной), их зависимость от параметров размера, заряда, положения третьей частицы. Результаты понятно представлены на рисунках, цвет помогает понять топографию сил. Также показано, что изучаемое электростатическое взаимодействие системы не приводит к появлению вращательного момента сил у микрочастиц.

В **заключении** диссертации приводятся выводы по всей работе, которые соответствуют формулируемым на защиту научным положениям. В конце также содержится список публикаций автора.

Диссертация написана ясным языком с подробными объяснениями в сложных местах, связанных с описанием математики. В ряде предложений используется «авторское» расположение запятых, но у меня не возникло ни каких замечаний-вопросов по тексту. Диссертация выглядит как целостная монография, бесспорно, это законченная научная работа, она производит только приятное впечатление. Некоторые же ее моменты мне хочется обсудить, скорее в контексте потенциального использования вычислений:

1. для возникновения взаимного притяжения между частицами важную роль играет третья частица, не имеющая размера, но обладающая не элементарным, а почти сопоставимым зарядом с двумя исследуемыми частицами. В каких системах такая комбинация сильно разных по размеру, и, очевидно, по массе частиц может реализовываться. В реальных ловушках трудно удерживать разнящиеся частицы. Возможна ли система в эксперименте, где две частицы удерживаются, а третья частица попадает в ловушку к двум первым динамически, например, с потоком плазмы, когда вероятность третьей частицы попасть в синюю область на диаграмме притяжения-отталкивания велика? Насколько требование не элементарного заряда для третьей частицы важно для появления чисто электростатического притяжения?
2. для меня очень важный результат – это попытка найти причины «классического спина» частицы на основе чистой электростатики. В исследованиях, указанных в диссертации в ссылках [42,43], был получен вывод о раскручивании пылевых гранул потоком плазмы. Кроме того, в экспериментах помещается в пылевую ловушку уединенная частица. Правильно ли понимать, что причины вращения частиц вокруг центра масс не чисто электростатические?
3. третий мой вопрос напрямую связан со вторым. Существует очень интересная модель раскручивания частицы, связанная с неравномерным зарядом поверхности при



нахождении частицы во внешнем электрическом поле [Hutchinson I.H. // New Jour. Phys. 2004. V.6. P. 43.1]. Мне кажется, что аналогия в физических задачах тут есть. Проводилось ли, и возможно ли сопоставление полученных результатов с данной работой?

Хочу сказать, что замечательно, когда новые данные сразу хочется попробовать применить к другой задаче. Полученные результаты могут быть использованы в ряде организаций: Институте Общей физики им. А.М. Прохорова, МГУ им. М.В. Ломоносова, Институте прикладной физики РАН, Троицком институте инновационных и термоядерных исследований, МФТИ, СПбГУ, ОИВТ РАН и др.

Апробация работы выполнена на ведущих мероприятиях с 2017 г. по 2021 г. У автора 3 публикации в рейтинговых журналах из списка ВАК.

В заключении отзыва скажу, что заданные вопросы не портят позитивной картины полученных результатов. Рецензируемая диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует всем критериям, установленным п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней № 842 от 24.09.2013 г., а ее автор Родин Михаил Максимович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9 — физика плазмы.

Официальный оппонент:

Профессор кафедры Общей физики I  
Физического факультета СПбГУ

Доктор физико-математических наук  
«21» ноября 2022



В.Ю. Карасев

Адрес: 199034, г. Санкт-Петербург, Университетская набережная, 7-9  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»

<http://www.spbu.ru>

E-mail: [v.karasev@spbu.ru](mailto:v.karasev@spbu.ru)

Тел.: (812) 428-44-66

