

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

СТЕНОГРАММА

заседания диссертационного совета 24.1.193.01 на базе
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Объединенного института высоких температур
Российской академии наук
(125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2)
от 21 декабря 2022 г. (протокол № 34)

Защита диссертации **Родина Михаила Максимовича**
на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
**«Развитие теории электростатического взаимодействия заряженных тел
на малых расстояниях между ними»**

Специальность 1.3.9 – физика плазмы

Москва – 2022

СТЕНОГРАММА

заседания диссертационного совета 24.1.193.01 на базе
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Объединенного института высоких температур Российской академии наук
(125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2)
Протокол № 34 от 21 декабря 2022 г.

Диссертационный совет 24.1.193.01 утвержден Приказом Министерства науки и высшего образования РФ от 26.01.2022 г. № 86/нк в составе 31 человека. На заседании присутствуют 24 человека, из них 10 докторов наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы и 12 докторов наук по специальности 1.3.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника. Дополнительно введены на разовую защиту 0 человек. Кворум имеется.

Председатель – зам. председателя диссертационного совета 24.1.193.01
д.ф.-м.н., профессор Андреев Н.Е.

Ученый секретарь – ученый секретарь диссертационного совета 24.1.193.01
к.ф.-м.н. Тимофеев А.В.

1	Петров О.Ф.	академик	1.3.9	Подключен
2	Андреев Н.Е.	д.ф.-м.н., профессор	1.3.9	Присутствует
3	Храпак А.Г.	д.ф.-м.н., профессор	1.3.14	Присутствует
4	Тимофеев А.В.	к.ф.-м.н.	1.3.9	Присутствует
5	Агранат М.Б.	д.ф.-м.н., с.н.с.	1.3.14	Подключен
6	Амиров Р.Х.	д.ф.-м.н., с.н.с.	1.3.9	Отсутствует
7	Баженова Т.В.	д.ф.-м.н., профессор	1.3.9	Отсутствует
8	Вараксин А.Ю.	чл.-корр. РАН, профессор	1.3.14	Присутствует
9	Васильев М.М.	д.ф.-м.н.	1.3.9	Подключен
10	Васильев М.Н.	д.т.н., профессор	1.3.14	Присутствует
11	Василяк Л.М.	д.ф.-м.н., профессор	1.3.9	Присутствует
12	Воробьев В.С.	д.ф.-м.н., профессор	1.3.9	Отсутствует
13	Гавриков А.В.	д.ф.-м.н., доцент	1.3.9	Подключен
14	Голуб В.В.	д.ф.-м.н., профессор	1.3.14	Присутствует
15	Грязнов В.К.	д.ф.-м.н.	1.3.14	Подключен
16	Дьячков Л.Г.	д.ф.-м.н.	1.3.9	Присутствует
17	Еремин А.В.	д.ф.-м.н., профессор	1.3.14	Присутствует
18	Зейгарник Ю.А.	д.т.н., с.н.с.	1.3.14	Присутствует
19	Зеленер Б.Б.	д.ф.-м.н.	1.3.9	Подключен
20	Иосилевский И.Л.	д.ф.-м.н., профессор	1.3.9	Подключен
21	Киверин А.Д.	д.ф.-м.н.	1.3.14	Присутствует
22	Кириллин А.В.	д.ф.-м.н.	1.3.14	Подключен
23	Лагарьков А.Н.	академик	1.3.9	Отсутствует
24	Левашов П.Р.	к.ф.-м.н.	1.3.14	Присутствует
25	Ломоносов И.В.	д.ф.-м.н., профессор	1.3.14	Отсутствует
26	Медин С.А.	д.т.н., профессор	1.3.14	Подключен
27	Норман Г.Э.	д.ф.-м.н., профессор	1.3.9	Присутствует
28	Пикуз С.А.	к.ф.-м.н.	1.3.9	Отсутствует
29	Савватимский А.И.	д.т.н.	1.3.14	Подключен
30	Филиппов А.В.	д.ф.-м.н., профессор	1.3.9	Присутствует
31	Яньков Г.Г.	д.т.н., с.н.с.	1.3.14	Отсутствует

ПОВЕСТКА ДНЯ

На повестке дня защита диссертации младшего научного сотрудника лаборатории 17.3 – активных кулоновских систем Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН) **Родина Михаила Максимовича** на тему «Развитие теории электростатического взаимодействия заряженных тел на малых расстояниях между ними». Диссертация впервые представлена на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы. Диссертация выполнена в лаборатории 17.3 – активных кулоновских систем ОИВТ РАН (125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2, jiht.ru).

Научный руководитель:

Филиппов Анатолий Васильевич – д.ф.-м.н., главный научный сотрудник лаборатории 17.3 – активных кулоновских систем Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук, г. Москва.

Официальные оппоненты:

Попель Сергей Игоревич – гражданин РФ, д.ф.-м.н., профессор, заведующий лабораторией плазменно-пылевых процессов в космических объектах Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института космических исследований Российской академии наук (ФГБУН ИКИ РАН; Россия, 117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 84/32).

Карасев Виктор Юрьевич – гражданин РФ, д.ф.-м.н., доцент, профессор физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» (СПбГУ; Россия, 199034, г. Санкт-Петербург, Университетская набережная, д. 7-9).

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук (ИОФ РАН; Россия, 119991, г. Москва, ул. Вавилова, д. 38).

На заседании присутствуют: научный руководитель Родина М.М. д.ф.-м.н. Филиппов А.В. – очно; официальные оппоненты д.ф.-м.н. Попель С.И. и д.ф.-м.н. Карасев В.Ю. – дистанционно.

СТЕНОГРАММА

Председатель

Уважаемые члены диссертационного совета и все присутствующие, давайте приступим к защите. Это Родин Михаил Максимович, и Алексей Владимирович нас сейчас ознакомит с документами.

Ученый секретарь

Дорогие коллеги, добрый день. В наш диссертационный совет обратился Михаил Максимович Родин 1994 года рождения, младший научный сотрудник лаборатории 17.3 ОИВТ РАН с просьбой принять его работу к защите. Работа: «Развитие теории электростатического взаимодействия заряженных тел на малых расстояниях между ними». Родин Михаил Максимович окончил Московский физико-технический институт в 2018 году (диплом магистра с отличием), защитил дипломную работу, подготовленную на кафедре плазменной энергетики Физтех-школы имени Ландау, поступил в очную аспирантуру. С сентября 2019 года Михаил Максимович работает в лаборатории 17.3 ОИВТ РАН в должности младшего научного сотрудника. В 2022 году окончил очную аспирантуру Московского физико-технического института. Для предварительного рассмотрения была избрана комиссия диссертационного совета в составе главного научного сотрудника лаборатории 2.3 доктора физико-математических наук профессора Леонида Михайловича Василяка, ведущего научного сотрудника лаборатории 7.2 доктора физико-математических наук Льва Гавриловича Дьячкова и заведующего лабораторией 17.3 доктора физико-математических наук Михаила Михайловича Васильева. Комиссия дала заключение о соответствии работы тематике диссертационного совета и о возможности защиты этой работы в нашем диссертационном совете. Диссертация принята к защите 17 октября 2022 года. В аттестационном деле имеются все необходимые документы. С вашего позволения зачитывать все документы не буду, если есть вопросы, готов ответить и зачитать документы.

Председатель

Есть вопросы? Если нет, тогда прямо можем перейти к защите. Отлично. Михаил Максимович, пожалуйста, 20 минут для ознакомления нас с результатами вашего труда.

Родин М.М.

Выступает с докладом по диссертационной работе (выступление не стенографируется, доклад Родина М.М. прилагается).

Председатель

Спасибо. У нас сейчас вопросы по докладу, да пожалуйста. Павел Ремирович, пожалуйста.

Левашов П.Р.

Покажите график для двух частиц, где потенциал. Который был во второй главе у вас. Вот этот, да. Вот все-таки желтые и голубые точки – это разные модели расчета, тем не менее, разница большая, здесь не так? Если голубые точки получены с использованием ряда и не

достигнута сходимость, то правильно ли их в таком виде приводить? То есть, как я понимаю голубые это бисферические координаты, а желтые это сшивка. Почему они настолько разные?

Родин М.М.

Извините, спасибо, во-первых, за вопрос. Я, видимо, очень второпях осветил этот момент: не совсем так, как вы говорите, все на графиках устроено, конечно, это только моя вина, сейчас подробнее об этом скажу. Символы – точки и треугольники – указывают на расчет по предложенному способу, а бисферические координаты – это сплошная линия 1 и пунктир 3, которые из-под них выглядывают. То есть согласие наоборот очень хорошее. А отличие между треугольниками и точками – это отличие случая постоянных зарядов от случая постоянных потенциалов, то есть то, что выше – постоянные заряды, ниже – потенциалы. Графики слева и справа указывают на отличие или совпадение радиусов частиц.

Председатель

Спасибо, еще вопросы, пожалуйста.

Тимофеев А.В.

Михаил Максимович, спасибо за интересный доклад, у меня такой вопрос. У вас хорошо и глубоко разработана теоретическая модель, было ли и возможно ли какое-то сравнение с какими-нибудь вычислительными методами, с моделированием и с экспериментом?

Родин М.М.

Спасибо за вопрос. Сравнение с экспериментов в первую очередь касается первой части работы, где рассматривается взаимодействие в плазме, и там есть экспериментальные данные, которые касаются характеристик плазменно-пылевых систем, и здесь можно говорить о параметрах, при которых пылевые частицы в плазме образуют некоторые структуры – что, собственно, и определяется потенциалом взаимодействия. Что касается сравнения с результатами моделирования, наверное, я не могу сказать, что оно проводилось, и не знаю, насколько возможно. Особенно если говорить о третьей части, где иначе как аналитическими методами было бы сложно как-то избежать тех проблем, о которых я говорил, в силу того, что расстояние между частицами настолько меньше их радиусов, что какую-то, условно говоря, разностную схему было бы построить довольно сложно. Вернее, считать по ней было бы непросто, это отняло бы очень большое количество времени, поэтому на второй вопрос ответ скорее нет, чем да.

Председатель

Спасибо, еще вопросы есть? Да, Павел Ремирович, пожалуйста.

Левашов П.Р.

По тому же самому графику: в реальной пылевой плазме какой потенциал надо брать, по вашему, их этих двух: с постоянными зарядами или с постоянными потенциалами?

Родин М.М.

Спасибо за вопрос, я полагаю, что следует использовать приближение постоянных потенциалов по той причине, что в плазме потенциалы поверхностей поддерживаются равными плавающему потенциалу, и, соответственно, это приближение наиболее применимо к плазменно-пылевой среде.

Андреев Н.Е.

Тогда в продолжение этого вопроса, я тоже хотел спросить относительно свойств самой частицы: наверное, это этим определяется в первую очередь в плазме, поэтому так нельзя говорить, что в плазме лучше постоянные потенциалы. Это зависит от того, какова частица и ее диэлектрические свойства. Что закладывается в ваше утверждение, когда вы говорите, что для плазмы лучше использовать приближение постоянных потенциалов? Если частица металлическая, то постоянные, я понимаю, а если с конечной проводимостью?

Родин М.М.

Хорошо, спасибо за вопрос, попытаюсь раскрыть. Дело в том, что во второй части работы, где среда полагается вакуумом или однородным диэлектриком, нам просто приходится рассматривать проводящие частицы, потому именно у них свойство не зависящих от углов потенциалов, чтобы можно было вводить потенциальные и емкостные коэффициенты, выполняется. В плазменной среде это могут быть и диэлектрические частицы, здесь мы ни коим образом не ограничивали этот выбор. Дело в том, что в плазменной среде потенциалы поверхностей просто потоками электронов и ионов поддерживаются равными плавающему, и когда я говорю, что нужно выбирать то или иное приближение, я лишь хочу сказать, что в модели, которая описывает систему, которую мы исследуем, следует считать постоянными именно потенциалы поверхностей частиц – в смысле, не зависящими от расстояния. Тут просто для разрешения граничных условий приходится пользоваться либо одним приближением, либо другим, и в силу причин, которые я назвал, для моделирования плазменной среды нужно использовать приближение постоянных потенциалов.

Председатель

Спасибо. Еще вопросы есть? Да, конечно. В микрофон, пожалуйста.

Васильев М.Н.

Спасибо. Очень интересный доклад, вопрос вот какой. Мне как экспериментатору хотелось бы понять, какой реальный физический объект стоит за этой моделью. То есть плазма с какой концентрацией электронов, частицы с какими свойствами, и тому подобное. Вот за этими моделями есть какой-нибудь реальный физический объект?

Родин М.М.

Спасибо за вопрос, да, возможно, следовало побольше об этом сказать в начале. На самом деле, плазменно-пылевые системы, которые я упоминал в контексте первой части работы, вполне могут описываться предложенной моделью. Что касается отсутствия плазменной среды, когда я переходил к диэлектрику, то, во-первых, можно снова по алгоритму, который я писал, привести это к плазме, а значит, использовать для вычисления

параметров именно этой среды. Кроме того, можно назвать такие системы как аэрозоли в атмосферах планет или молекулярные кластеры, которые тоже можно моделировать макроскопическими заряженными объектами, то есть на самом деле здесь сферы применения не только плазмы касаются, но ее в частности.

Председатель

Спасибо. Павел Ремирович, пожалуйста. Большой интерес.

Левашов П.Р.

Все-таки меня удивляет потенциал, который вот вы нарисовали, то есть с максимумом, а не с минимумом. Это значит, на малых расстояния частицы будут притягиваться, а на больших отталкиваться, а мы привыкли, что обычно наоборот. То есть будет тенденция к слипанию, это так и есть, это физично?

Родин М.М.

Спасибо за вопрос, я должен сказать, что, конечно же, в моей работе рассматривается именно электростатический вклад во взаимодействие. Стоит помнить, что есть многие другие, но вообще-то именно в этом приближении известно о том, что на малых расстояниях как раз-таки обычное кулоновское отталкивание одноименно заряженных объектов может сменяться притяжением. Это, например, не возникает в случае одинаковых зарядов и радиусов, там минимума нет. А вот на левом, где радиусы разные, это имеет место, и, как вы сказали, тенденция к слипанию тут проявляется. Но опять-таки для полной картины хорошо было бы эти силы учесть, но это, наверное, в рамках ответа на какой-нибудь другой вопрос.

Председатель

Спасибо, еще есть вопросы? Можно коротко взглянуть на первое положение, выносимое на защиту. Там я увидел слово «можно». Вроде оно подразумевает, что вы знаете абсолютную истину, сравниваете свой результат с чем-то и говорите: да, действительно можно. С чем вы сравниваете, когда так говорите?

Родин М.М.

Справедливое замечание, спасибо. Я имел в виду сравнение с непосредственным вычислением. Я почти в каждой части приводил некоторый алгоритм, который работает, но не без нюансов. Вот собственно «можно» означает, что предлагаемый в моей работе способ приводит к тому же результату, но с меньшими затратами, а в пределе более жестких условий позволяет получать новые. То есть воспроизводит известные в менее жестких условиях, что позволяет рассчитывать на то, что в более жестких условиях мы тоже получаем что-то более или менее достоверное. Надеюсь, ответил.

Председатель

Спасибо, если больше вопросов нет, то, уважаемые члены совета, дистанционно участвующие, у вас есть вопросы к соискателю? Похоже, что нет. Анатолий Васильевич, тогда вам сейчас можно высказаться.

Филиппов А.В.

Выступает с отзывом на диссертационную работу (выступление не стенографируется, отзыв научного руководителя прилагается).

Председатель

Спасибо, Анатолий Васильевич. Мы должны теперь ознакомиться с отзывами, пожалуйста.

Ученый секретарь

Дорогие коллеги, у нас в деле имеется несколько отзывов и заключений. Диссертация выполнена в лаборатории 17.3 **Объединенного института высоких температур Российской академии наук**. Есть заключение Объединенного института высоких температур Российской академии наук. Если позволите, я подробное изложение диссертации, новизны, содержания и так далее, зачитывать не буду, при необходимости зачитаю, и перейду к заключению. Заключение следующее: содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.3.9 – физика плазмы, диссертация Родина Михаила Максимовича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы. Отзыв подписан директором ОИВТ РАН, академиком **Олегом Федоровичем Петровым** и утвержден заместителем директора ОИВТ РАН по научной работе **Андреем Владимировичем Гавриковым**.

Кроме того, в деле есть отзыв **ведущей организации**. Ведущая организация – это **Институт общей физики имени Прохорова Российской академии наук**. Отзыв составил главный научный сотрудник теоретического отдела ИОФ РАН, доктор физико-математических наук, профессор **Александр Михайлович Игнатов**, и.о. заведующего теоретическим отделом председатель ученого совета теоретического отдела доктор физико-математических наук профессор **Намик Гусейнага оглы Гусейн-заде**. Отзыв также подписан главным научным сотрудником, ученым секретарем ученого совета теоретического отдела **Василием Вячеславовичем Стрелковым** и утвержден директором ИОФ РАН членом-корреспондентом РАН **Сергеем Владимировичем Гарновым**. В отзыве есть замечания.

1. Диссертация по сути своей носит аналитический характер: вычислительная составляющая основана лишь на численном решении системы линейных уравнений и суммировании рядов для исследуемых величин. Не лишним было бы оправдать использованный подход сравнением с результатами, полученными другими методами вычислительной математики, такими как, например, метод конечных разностей.
2. Несмотря на общую целостность работы, автор последовательно отходит от задачи, поставленной в первой главе, относящейся к взаимодействию заряженных макрочастиц в плазменной среде. Именно, во второй главе рассмотрение проводящих макрочастиц, помещенных в вакуум или однородный диэлектрик, оправдывается применимостью к этой системе методики, разработанной в первой главе, но лишь при условии, что потенциалы поверхностей частиц можно считать не зависящими от угловых координат. При этом в третьей главе рассматриваются

диэлектрические частицы, для которых такое допущение уже не является верным, что не позволяет перенести выводы, сделанные в этой главе, на случай взаимодействия пылевых частиц в комплексной плазме.

3. Сделанные в третьей главе выводы основаны на исследовании очень конкретной системы с фиксированными параметрами, такими как размеры, заряды и диэлектрические проницаемости макрочастиц. Может создаться впечатление, что полученные результаты применимы именно к данному набору параметров, а их универсальность автором ни коим образом не подтверждена и даже не заявлена.

Все перечисленные замечания носят рекомендательный характер и не снижают общей значимости диссертационной работы. 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. (ред. 07.06.2021 г.), а ее автор Михаил Максимович Родин заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы.

Далее, поступило **4 отзыва на автореферат**.

Первый отзыв поступил от доктора физико-математических наук, профессора, высококвалифицированного главного научного сотрудника отдела оптики низкотемпературной плазмы **Физического института имени Лебедева Владимира Николаевича Очкина**. В отзыве есть замечание: «Несмотря на общую ясность изложения, после ознакомления с работой все же остаются некоторые моменты, которые хотелось бы прояснить. В первой главе автор отмечает, что в только случае постоянных зарядов удается получить простую формулу, связывающую силы взаимодействия в вакууме и в плазме. В случае постоянных потенциалов поверхности частиц предлагается процедура вычисления, в которой сначала определяются реальные заряды на них, а затем сила уже пересчитывается как в случае постоянных зарядов. Этот прием вызывает вопросы, ведь несмотря на опосредованное нахождение зарядов, их зависимость от межчастичного расстояния продолжает иметь место, и, как видится из описания модели, это само по себе уже не позволяет воспользоваться названной формулой перехода от одной силы к другой». Отзыв положительный. Если позволите, остальные детали зачитывать не буду, перейду к следующему отзыву.

Следующий отзыв составил доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник отделения перспективных разработок **Троицкого института инновационных и термоядерных исследований Александр Федорович Глова**. Есть замечание: «При малых расстояниях между поверхностями частиц на первый план выходят так называемые силы Казимира и Ван дер Ваальса, поэтому было бы полезно привести сравнение этой силы с электростатической силой, особенно при расстояниях между поверхностями частиц порядка 1 нм и меньше». Отзыв положительный. Если позволите, перейду к следующему отзыву.

Следующий отзыв на автореферат составлен доктором физико-математических наук, профессором кафедры прикладной физики **Московского физико-технического института Александровым Николаем Леонидовичем**. Есть замечание, касающееся второй главы: «В качестве основного результата второй главы представляется описанная

выше методика расчета емкостных коэффициентов системы из двух проводящих сферических макрочастиц. Проводя сравнение с результатами расчетов в бисферических координатах, автор не стремится оправдать востребованность разработанного метода и не указывает на какие-либо его достоинства на фоне референтного. Возможно, этот момент подробнее освещен в полном тексте работы». Приведенное замечание носит рекомендательный характер и не снижает общей значимости диссертационной работы. Отзыв положительный. На этом отзывы на автореферат закончены.

Председатель

Спасибо большое. Михаил Максимович, пожалуйста, вам время для ответа на те замечания, которые прозвучали во всех отзывах вместе.

Родин М.М.

Во-первых, хотел бы поблагодарить ведущую организацию и людей, составивших отзывы на автореферат, за внимание к работе. Во многом сделанные замечания содержательны и я хотел бы на них ответить. Что касается замечания Александра Михайловича Игнатова, представителя ведущей организации, в одном из вопросов у меня уже была возможность сказать, почему не очень плодотворным представляется сравнение с методом, например, конечных разностей. Другое замечание, которое было высказано Александром Михайловичем, касается того, что я отохожу от задачи, поставленной в первой главе, касающейся взаимодействия в плазме, в частности, в том, что в третьей главе у меня диэлектрические частицы в диэлектрической среде. Во-первых, не только к плазме применима описанная модель, во-вторых, к плазме в том числе ее можно применить, если просто положить частицы проводящими. В полном тексте диссертационной работы я указываю, какие слагаемые нужно положить нулевыми, чтобы соответствующие выражения для силы взаимодействия отражали ситуацию, когда частицы проводящие, а значит, выполняются все предположения, которые были во второй главе. Далее, опять-таки ведущей организацией сделано в целом справедливое замечание, касающееся того, что я рассматриваю вполне конкретную систему в третьей главе. На самом деле объясняется это тем, что, когда я добавляю третью частицу к системе, возникает довольно большое количество параметров, и все их учесть таким образом, чтобы получилось как-то наглядно изобразить зависимость ситуации от них, довольно сложно. Поэтому в изложении я ограничился каким-то одним, и возможно, следовало более явно прописать, что сделанные выводы в этом плане универсальны.

Что касается отзывов на автореферат. Владимиру Николаевичу Очкину хочу ответить, что предложенная процедура все-таки, возможно, я не очень хорошо прописал, но вопросов вызывать она не должна. Реальные заряды вычисляются для каждого конкретного значения межчастичного расстояния, и нигде не заявлено, что они перестают от него зависеть. Просто мы не можем без их вычисления по этой схеме подставлять их в формулу для силы. Что касается отзыва из ТРИНИТИ от Александра Федоровича Гловы, что можно было уделить большее внимание силам Казимира и Ван дер Ваальса. Надо сказать, что выделение именно электростатического вклада во многом позволяет эти силы определенной точностью оценить, потому что на малых расстояниях они, конечно же, играют роль, но и электростатические в том числе, и если мы можем достаточно точно вычислять именно эту компоненту, то опять-таки из каких-то экспериментальных данных

мы можем и ее вычленять и таким образом получать независимые данные для сил другой природы. И, наконец, отзыв из МФТИ от Николая Леонидовича Александрова. Я не очень подробно сказал в своем докладе, почему я опираюсь на бисферические координаты и чем они плохи. На самом деле, ничем не плохи, иначе бы я, наверно, с ними не сравнивал, но выигрыш, преимущество предлагаемого метода в том, что в бисферических координатах хоть и удастся получить явные выражения для расчетных величин – то есть не нужно решать систему линейных уравнений, например, – но все-таки для того, чтобы прийти к каким-то числам, приходится пользоваться численным суммированием. А предложенный мной способ лишен этого, условно говоря, недостатка, и там ничего суммировать не приходится. Пожалуй, на этом все с ответами на замечания, спасибо.

Председатель

Спасибо. Теперь у нас есть возможность заслушать мнение официальных оппонентов. Оба оппонента у нас присутствуют дистанционно, и первый оппонент из ИКИ – Попель Сергей Игоревич.

Попель С.И.

Здравствуйтесь, меня слышно? Я вас слышу, в принципе.

Председатель

Слышно, но пока не видно.

Попель С.И.

Не видно? Это странно, потому что... вроде подключено. Я выключаю веб-камеру и снова включаю. Теперь видно?

Председатель

Да, теперь видно.

Попель С.И.

Ну хорошо.

Председатель

Мы вас слушаем.

Попель С.И.

Спасибо.

Выступает с отзывом на диссертационную работу (выступление не стенографируется, отзыв официального оппонента прилагается).

Председатель

Спасибо, Сергей Игоревич. Пожалуйста, Михаил Максимович, вам время для ответов на замечания.

Родин М.М.

Большое спасибо, Сергей Игоревич, за внимание к моей работе. Я перейду к ответу на замечания. Во-первых, что касается того, что я с одной стороны говорю о равновесной плазме, а с другой – о применимости полученных результатов к развитию неустойчивостей. Во-первых, можно сказать, что неустойчивости имеют некоторые характерные времена развития, и на их фоне можно считать плазму равновесной и в этом предположении находить какие-то параметры. Но, вообще говоря, для решения задачи в случае неравновесной плазмы немного пришлось бы изменить. То есть основной алгоритм был бы тем же самым, просто дебаевская длина, которая в частности зависит от электронной и ионной температур, просто учитывала бы и ту, и другую величины. На виде решаемого уравнения, уравнения Гельмгольца, это не отразилось бы. Тем не менее, конечно, замечание ценное и содержательное.

Что касается второго замечания про недостаточный обзор литературы, пожалуй, я должен с ним согласиться, наверное, нужно было более подробно осветить контекст. И если говорить о тех силах и тех факторах, которые я не учитываю, тоже в целом трудно не согласиться, хотя я уже говорил в ответе на один из вопросов или замечаний, что конкретно тот вклад, который определяю в своей работе я, позволяет с той или иной точностью... то есть чем точнее я смогу определить электростатический вклад, с тем большей точностью я могу определить все другие, если мы имеем какое-то представление о комплексной картине. Это, наверное, все, что я мог бы ответить на замечания, спасибо еще раз.

Председатель

Спасибо. Мы переходим тогда к выступлению второго оппонента. Он тоже у нас дистанционно, из Санкт-Петербургского государственного университета, Карасев Виктор Юрьевич.

Карасев В.Ю.

Коллеги, меня слышно?

Председатель

Слышно хорошо, да и видно. Пожалуйста.

Карасев В.Ю.

Выступает с отзывом на диссертационную работу (выступление не стенографируется, отзыв официального оппонента прилагается).

Председатель

Спасибо, Виктор Юрьевич. Пожалуйста, Михаил Максимович.

Родин М.М.

Большое спасибо, Виктор Юрьевич, за внимание к моей работе, за ценные замечания. Я начну с первого замечания, которое вы сформулировали касательно третьей частицы, ее

точности и неэлементарности ее заряда. Поскольку рассматриваемая мной задача сугубо классическая, здесь о чем-то качественно меняющем картину при уменьшении заряда говорить не приходится. То есть эффект был бы примерно такой же, просто меньший численно. Если говорить о реализации таких систем, лично мне, наверное, было бы проще думать о динамическом попадании частиц в названную область, и несмотря на то, что рассматриваемая у меня задача статическая, такой сценарий я бы находил более вероятным. И немного о том, что тоже в замечании содержалось, что заряды сопоставимы, а размеры настолько сильно отличаются. Опять-таки при том наборе параметров, который я рассматриваю, все-таки заряды макроскопических частиц отличаются раза в полтора-два, а с точечной они отличаются в двадцать раз. Так что есть все-таки некоторое различие, и довольно серьезное, но опять-таки величина заряда здесь больше на наглядность работает: таким образом, можно более явно увидеть те эффекты, которые я хотел показать.

Что касается замечания и вопросов, касающихся раскручивания частиц в электрическом поле за счет чистой электростатики. Надо сказать, что та задача, которую я решал, то, что было в начале той части доклада, которая касается третьей главы, там была такая мотивация, что нарушается аксиальная симметрия в геометрии расположения, и, казалось бы, предпосылки для возникновения ненулевого момента есть. Однако его не возникает, по крайней мере, за счет электростатики. Это происходит именно за счет равномерного распределения свободного заряда на поверхностях, и в целом, если мы устроим такую систему даже за счет чистой электростатики, где нарушается симметрия в распределении свободного заряда, в том числе и по азимуту, то есть по углу, по которому у нас все симметрично в той задаче, которую я рассматриваю, то, безусловно, такие условия будут созданы, чтобы момент был уже ненулевым. Но проблема в том, что в работах, с которыми я знаком, и, насколько я помню, в том числе в той, на которую вы ссылаетесь, там не неоднородное в этом смысле распределение свободного заряда связано как раз-таки с тем, что частица находится в электрическом и магнитном полях, и, соответственно, неоднородность распределения свободного заряда вызвана потоками электронов и ионов, а направления этих потоков определяются электрическим и магнитным полем. Поэтому в плане реальных причин, которые могут приводить к неоднородности в распределении заряда, сложно говорить, что чистая электростатика может что-то такое обеспечить, хотя в принципиальном смысле никаких ограничений здесь нет. На этом, наверное, все с ответом на вопросы и замечания, еще раз большое спасибо за интерес к работе.

Председатель

Спасибо, Михаил Максимович. Мы переходим к дискуссии, теперь все присутствующие, в том числе дистанционно, имеют возможность высказаться. Пожалуйста, кто хочет сказать что-нибудь о работе или соискателе. Кто-нибудь хочет задать вопрос из тех, кто дистанционно участвует в заседании? Да, пожалуйста.

Вараксин А.Ю.

Уважаемый председатель, уважаемые члены диссертационного совета. Поскольку желающих не было, я решил, что надо пару слов сказать. На мой взгляд, хотя я далек от электростатики и от рассматриваемых проблем, они в диссертационной работе исследованы глубоко и на хорошем уровне, как я понял, научной новизны – это было

подтверждено руководителем и выступающими оппонентами, которых обоим я знаю, очень уважаю и знаком с их трудами. С одной стороны, может показаться, что рассматриваемая задача находится очень далеко от практики. Притом практику я рассматриваю в широком смысле слова – не только запыленная плазма, а вообще движения, где присутствуют макрочастицы. Частицы могут иметь самые разнообразные свойства, могут быть силовые факторы, важные для решения лагранжевых уравнений движения частиц. Там может быть колоссальное количество силовых факторов, которые определяют, собственно говоря, их динамику. Тут акцент, понятно, делается на слово статика. И акцент делается очень полезный, потому что вот эти единичные факторы на той глубине, на которой рассмотрены в диссертации, они безусловно имеют более широкие приложения, чем просто та же пылевая плазма, которую я вспомнил. Есть широкий класс практических задач, и нужны силовые факторы, динамика нужна, и поэтому несмотря на кажущуюся отдаленность от практики, крайне полезная, мне кажется, работа. Естественно, слабый момент, это четко прозвучало, – это обзор, потому что этими вещами занимались и, наверное, не только в девяностых годах, поскольку это близко к классической постановке – начиная от Кулона, получается. Претензии, в общем, понятные. Поэтому на мой взгляд работа выполнена на очень хорошем научном уровне, диссертант обладает необходимой квалификацией и достоин присуждения искомой ученой степени, поэтому я буду поддерживать эту работу и призываю членов совета тоже ее поддержать.

Председатель

Спасибо, Алексей Юрьевич. Я думаю, что... Пожалуйста, Леонид Михайлович.

Василяк Л.М.

Я бы тоже хотел поддержать работу, поскольку сегодня очень важным вопросом является взаимодействие микрочастиц в различных ловушках. Если говорить конкретно, например, о пылевой плазме, то переход к низким температурам приводит к тому, что расстояние между частицами становится достаточно малым: настолько, что ни близкое приближение, ни дальнее не работают, такая промежуточная область. С этой точки зрения работа очень полезная, сделана квалифицированно, и я предлагаю ее поддержать.

Председатель

Я думаю, что ситуация достаточно понятная, потому что действительно на высоком уровне и актуальная задача решена. Поэтому я тоже поддерживаю все сказанное в дискуссии и предлагаю перейти к голосованию, если других предложений нет.

Ученый секретарь

Дорогие коллеги, заседание у нас проводится в комбинированном очно-дистанционном режиме. Голосование проводится также с использованием телекоммуникационной системы на сайте. Соответственно, прошу все присутствующих членов диссертационного совета войти под своими логинами и паролями на сайт ОИВТ РАН и проголосовать. Для тех, кого нет соответствующего устройства, можно проголосовать на компьютере в зале.

Председатель

Голосовать мы можем молча, а за это время соискатель скажет свое заключительное слово.

Родин М.М.

Большое спасибо всем, кто и сегодня, и в течение подготовки к защите уделил внимание к моей работе. Спасибо всем, с кем мне доводилось обсуждать результаты моей работы или какие-то другие темы, которые были полезны в моей работе, в том числе на конференциях. Хотел бы выразить благодарность Институту высоких температур, где я работаю в течение нескольких лет и где мне посчастливилось защищаться, – и который в том числе организовывал многие из тех конференций, где я докладывал свои результаты и обсуждал их с другими авторами. Конечно, большая благодарность моему научному руководителю, который в течение действительно долгих лет поддерживал меня всесторонне, и я хочу поблагодарить его за терпение, за прививку некоторого образа мышления. Спасибо.

Председатель

Спасибо, Михаил Максимович. Поскольку мы должны несколько минут отвести для того, чтоб у нас прошло голосование, то, если уже есть замечания к заключению нашего совета, мы можем использовать это время.

Члены диссертационного совета обсуждают проект заключения.

Ученый секретарь

Дорогие коллеги, голосование завершилось. На заседании присутствовало **24** члена диссертационного совета, в том числе докторов наук по профилю рассматриваемой диссертации – **10**. Очно присутствовало **14** человек, в том числе докторов наук по профилю рассматриваемой диссертации – **5**, онлайн присутствовало **10**, в том числе докторов наук по профилю рассматриваемой диссертации – **5**. Получено **24** голоса, за присуждение ученой степени Родину Михаилу Максимовичу – **24**, против – **0**, воздержалось – **0**.

Председатель

Спасибо, результат голосования мы сначала должны утвердить, а потом похлопать. Кто за то, чтоб утвердить эти результаты голосования? В зале все за, спасибо. Из присутствующих дистанционно нет никого, кто против или воздержался? Результаты голосования приняты единогласно, поздравляем соискателя.

По поводу нашего заключения, все замечания были сделаны, если больше замечаний нет, тогда я предлагаю принять его с теми замечаниями, которые были сделаны. Кто за? Спасибо. Дистанционно присутствующие, есть какие-нибудь пожелания относительно нашего заключения? Пожеланий нет.

Проект заключения принят единогласно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.193.01
(Д 002.110.02), СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ВЫСОКИХ
ТЕМПЕРАТУР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 21.12.2022 г. № 34

О присуждении Родину Михаилу Максимовичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Развитие теории электростатического взаимодействия заряженных тел на малых расстояниях между ними» по специальности 1.3.9 – физика плазмы принята к защите 17.10.2022 г., (протокол заседания № 25) диссертационным советом 24.1.193.01 (Д 002.110.02), созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (125412, г. Москва, Ижорская ул., д. 13, стр. 2, (495) 485-8345, jiht.ru), утвержденного Приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 86/нк от 26.01.2022г.

Соискатель Родин Михаил Максимович 1994 года рождения, в 2018 году окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)».

Работает в должности младшего научного сотрудника лаборатории № 17.3 – активных кулоновских систем Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук.

В 2022 году окончил очную аспирантуру Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)».

Диссертация выполнена в лаборатории № 17.3 – активных кулоновских систем Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук.

Научный руководитель доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник лаборатории № 17.3 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук Филиппов Анатолий Васильевич.

Официальные оппоненты:

- доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией Плазменно-пылевых процессов в космических объектах Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института космических исследований Российской академии наук Сергей Игоревич Попель;

- доктор физико-математических наук, доцент, профессор Физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» Виктор Юрьевич Карасев

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук в своем положительном заключении, составленном главным научным сотрудником теоретического отдела, д.ф.-м.н., проф. Игнатовым А.М. (утвержденном 30.11.2022 г. директором, чл.-корр. РАН Гарновым С.В.) указала, что достоверность результатов, полученных в диссертации, не вызывает сомнений, однако автору следовало сравнить их с полученными другими численными методами и дополнить найденными при других наборах параметров рассматриваемой системы.

Результаты работы могут быть использованы в научных и научно-образовательных центрах, а также в организациях, проводящих исследования в области физики пылевой плазмы и в других областях, связанных с взаимодействием макроскопических объектов на малых расстояниях, в частности, в Объединенном институте высоких температур РАН, Троицком институте инновационных и термоядерных исследований, Институте теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН, Институте нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН, Институте общей физики им. А. М. Прохорова РАН, Физическом институте им. П.Н. Лебедева РАН, Московском физико-техническом институте (государственном университете).

Соискатель имеет 3 опубликованные работы по теме диссертации:

1. *Филиппов А.В., Дербенев И.Н., Паутов А.А., Родин М.М.* «Электростатическое взаимодействие макрочастиц в плазме в режиме сильного экранирования» (2017), ЖЭТФ (DOI: 10.7868/S0044451017090176)
2. *Rodin M., Filippov A.* “Accurate and approximate methods to calculate capacitance and potential coefficients of two-particle system” (2017), J. Phys.: Conf. Ser. (DOI: 10.1088/1742-6596/927/1/012045)
3. *Pautov A.A., Rodin M.M., Filippov A.V.* “Interaction potential of two spherical macroparticles at constant surface potentials” (2019), J. Phys.: Conf. Ser. (DOI: 10.1088/1742-6596/1147/1/012114).

На автореферат поступили отзывы:

1. **Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт имени П.Н. Лебедева Российской академии наук** (высококвалифицированный главный научный сотрудник отдела оптики низкотемпературной плазмы, д.ф.-м.н., профессор Очкин В.Н.) – отзыв положительный, с замечанием:

- автор отмечает, что только в случае постоянных зарядов возможно перейти от силы в вакууме к силе в плазме, однако предложенный им способ нахождения силы в случае постоянных потенциалов предполагает опосредованное вычисление зарядов, что, как кажется, не делает их постоянными и не устраняет заявленное ограничение.

2. **Акционерное общество «Государственный научный центр Российской Федерации Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований»** (главный научный сотрудник отделения перспективных разработок, д.ф.-м.н., профессор Глова А.Ф.) – отзыв положительный, с замечанием:

- следует отметить что при малых расстояниях между поверхностями частиц на первый план выходят силы Казимира и Ван дер Ваальса, которые полезно было бы сравнить с найденной электростатической силой.

3. **Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)»** (профессор кафедры прикладной физики, д.ф.-м.н., профессор Александров Н.Л.) - отзыв положительный, с замечанием:

- автору следовало подробнее раскрыть преимущество предложенного способа вычисления емкостных коэффициентов на фоне используемого в качестве референтного метода расчета и использованием бисферической системы координат.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается:

- д.ф.-м.н., профессор Попель С.И. является ведущим специалистом в области физики пылевой плазмы и исследований плазменно-пылевых процессов в космических объектах и в атмосфере Земли.

1. Golub, A. P., & Popel, S. I. (2021). Nonstationary Processes in the Formation of a Dusty Plasma near the Surface of Phobos. JETP Letters, 113(7), 428-432;
2. Morozova, T. I., & Popel, S. I. (2020). On the Plasma–Dust Processes Accompanying Meteor Showers. Plasma Physics Reports, 46(11), 1075-1088;
3. Zelenyi, L. M., Popel, S. I., & Zakharov, A. V. (2020). Dusty plasma at the Moon. Challenges of modeling and measurements. Plasma Physics Reports, 46(5), 527-540.

- д.ф.-м.н., доцент Карасев В.Ю. является крупным ученым в области экспериментальных исследований плазменно-пылевых структур, находящихся в газовом разряде и помещенных в неоднородное магнитное поле.

1. Абдирахманов, А. Р., Карасев, В. Ю., Дзлиева, Е. С., Павлов, С. И., Новиков, Л. А., & Рамазанов, Т. С. (2021). Вращение пылевой структуры в сильном неоднородном магнитном поле. Теплофизика высоких температур, 59(5), 657-662;
2. Kartasheva, A., Karasev, V., & Golubovskii, Y. (2019). Nonlinear oscillations of a single dust particle as the basis of the method for the DC plasma diagnostics. Journal of Instrumentation, 14(10), C10034;
3. Карасев, В. Ю., Дзлиева, Е. С., Павлов, С. И., Новиков, Л. А., & Машек, И. Ч. (2019). Регистрация собственного вращения пылевых частиц в условиях ВЧ разряда индукционного типа. Журнал технической физики, 89(1), 50-54.

- Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук является профильной организацией, специализирующейся, в частности, на проведении исследований в области физики пылевой плазмы, теоретическом и экспериментальном изучении систем многих частиц, моделировании молекулярных кластеров. В теоретическом отделе ведутся интенсивные работы по изучению пылевых структур в плазменной среде, эволюции плазменных кристаллов и цепочек пылевых частиц.

1. Игнатов, А. М. (2020). Устойчивость линейного плазменного кристалла. Физика плазмы, 46(3), 213-218;
2. Игнатов, А. М. (2020). Нелинейная динамика линейной цепочки пылевых частиц. Физика плазмы, 46(9), 847-853;
3. Игнатов, А. М. (2019). Коллективная сила ионного увлечения. Физика плазмы, 45(9), 825-830.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

– предложен алгоритм вычисления силы взаимодействия макрочастиц с постоянными потенциалами поверхностей в плазме при слабом экранировании через умножение силы взаимодействия в однородном диэлектрике на плазменную поправку, что позволяет избежать серьезных вычислительных трудностей, с которыми сопряжено непосредственное использование формулы для силы взаимодействия в плазме при малых межчастичных расстояниях;

– представлены явные формулы для точного вычисления емкостных и потенциальных коэффициентов системы из двух сферических частиц конечного размера, полученные гладкой сшивкой выражений, имеющих высокую точность в пределах малых и больших расстояний между частицами;

– показано, что при численном исследовании взаимодействия сферических макрочастиц с близко расположенным точечным зарядом возникает проблема крайне медленной сходимости формул для поверхностной плотности заряда и силы взаимодействия, и предложен метод выделения вкладов зарядов-изображений, позволивший преодолеть это затруднение и получить надежные результаты для рассчитываемых величин;

– продемонстрировано, что влияние третьей частицы пренебрежимо малого размера на взаимодействие двух диэлектрических сферических частиц оказывается заметным преимущественно в той области их параметров, которая соответствует переходу от отталкивания к притяжению;

– установлено, что в случае, когда свободный заряд распределен по поверхностям макрочастиц равномерно, момент электростатической силы, действующей на сферу, оказывается равным нулю независимо от взаимного расположения трех частиц.

Теоретическая и практическая значимость исследования работы заключаются, во-первых, в том, что предложенный метод расчета емкостных коэффициентов системы из двух проводящих шаров может быть использован для нахождения потенциала взаимодействия пылевых частиц в плазме, который позволяет определить условия фазовых переходов в пылевой плазме, частоты пылеакустических колебаний и коэффициенты переноса пылевых частиц. Во-вторых, развитая в работе теория электростатического взаимодействия трех частиц дает возможность учесть влияние соседей на пару сферических частиц и тем самым расширить и дополнить результаты предыдущих исследований.

Достоверность результатов исследования обеспечена использованием проверенных физических и математических методов, проверкой полученных результатов экстраполяцией на случаи малых и больших расстояний и сравнением полученных данных с результатами других авторов.

Личный вклад соискателя состоит в активном участии в исследовании, результаты которого представлены в первой главе диссертации, а также в формулировке и решении задач, составляющих вторую и третью главы представленной работы.

Апробация результатов исследования проводилась на 16 российских и международных конференциях и симпозиумах. Основные публикации по выполненной работе также подготовлены при определяющем участии автора.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

Соискатель Родин Михаил Максимович ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы, привел собственную аргументацию и согласился со сделанными замечаниями.

На заседании от 21.12.2022 г. диссертационный совет принял решение за развитие существующей теории электростатического взаимодействия заряженных тел в различных средах, присудить Родину Михаилу Максимовичу ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы.

При проведении тайного голосования Диссертационный совет в количестве 24 человек, из них очно: 5 докторов наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы и 7 докторов наук по специальности 1.3.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника, дистанционно: 5 доктора наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы и 5 докторов наук по специальности 1.3.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника, участвовавших в заседании, из 31 человека, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 24, против 0, недействительных бюллетеней - 0.

Зам. председателя диссертационного совета 24.1.193.01
д.ф.-м.н., профессор



Андреев Н.Е.

Ученый секретарь диссертационного совета 24.1.193.01
к.ф.-м.н.



Тимофеев А.В.
21.12.2022 г.

