

## 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

В диссертации М.М. Родина рассмотрены актуальные вопросы физики взаимодействия заряженных тел в различных средах, в том числе, и в пылевой плазме. Значительная часть диссертации посвящена разработке новых и усовершенствованию имеющихся методов определения основных характеристик системы, состоящей из двух взаимодействующих заряженных частиц конечного размера. Кроме того, производится обобщение известных результатов на случай большего количества частиц. Актуальность работы обусловлена тем, что ее результаты представляют существенный интерес для современных исследований пылевой плазмы. В частности, методы, развитые в работе, могут использоваться для нахождения потенциала взаимодействия пылевых частиц в плазме, определения условий фазовых переходов в пылевой плазме, нахождения коэффициентов переноса пылевых частиц и т.д.

Диссертация М.М. Родина состоит из введения, трех глав, заключения и приложения.

Во введении формулируется цель работы и ее научная новизна. В первой главе проводится исследование взаимодействия двух пылевых частиц в равновесной плазме. Сформулированы условия для возможности рассмотрения данной задачи в рамках исследования взаимодействия частиц в однородном диэлектрике. Выделены случаи постоянных зарядов и постоянных потенциалов поверхностей пылевых частиц, описан алгоритм вычисления силы взаимодействия пылевых частиц в плазме в режиме слабого и умеренного экранирования.

Во второй главе диссертации предложен метод расчета потенциальных и емкостных коэффициентов системы из двух проводящих сферических частиц в однородном диэлектрике, основанный на сшивке приближенных формул в области больших межчастичных расстояний с асимптотическими выражениями, дающими точные результаты при сильном сближении частиц. С помощью этих величин рассчитана потенциальная энергия взаимодействия во всем диапазоне межчастичных расстояний.

В третьей главе рассмотрено взаимодействие трех заряженных частиц, две из которых имеют конечные размеры и диэлектрические проницаемости, а одна может трактоваться как материальная точка. Получены аналитические формулы для сил, действующих на сферические частицы, и для плотности заряда на их поверхностях. Исследовано влияние точечной частицы на возникновение притяжения между одноименно заряженными диэлектрическими шарами.



В заключении сформулированы основные результаты и выводы диссертационной работы.

В приложении внимание уделяется интегралам от ряда тригонометрических функций, а также свойствам присоединенных функций Лежандра и интегралам от выражений, содержащих присоединенные функции Лежандра.

Практически все результаты, включенные в диссертацию, опубликованы в научной печати и докладывались на научных конференциях. Положения, выносимые на защиту, являются новыми и оригинальными и не вызывают сомнений в достоверности. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Отметим недостатки диссертационной работы.

- 1) В работе неоднократно утверждается, что автор рассматривает равновесную плазму. Однако, как правило, пылевая плазма в лабораторных и природных условиях является неравновесной. На это, в частности, указывает возможность существования в реальных условиях волн в плазме таких, как пылевой звук, ионный звук и т.д., которые возникают естественным образом в результате развития плазменных неустойчивостей. В этом смысле, например, автор противоречит сам себе, утверждая, что он рассматривает равновесную плазму, но при этом он же пишет (см. стр. 6 диссертации), 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 ... частоты пылеакустических колебаний...». Непонятно, возможно ли использовать результаты, полученные автором в предположении равновесной плазмы, для описания реальных плазменно-пылевых систем в лаборатории и природе.
- 2) Автор претендует на определение характера взаимодействия пылевых частиц в плазме. При этом данная тематика получила существенное развитие еще в 1990-х годах. Имеются многочисленные работы, посвященные данной тематике и учитывающие ряд эффектов, которыми пренебрегается в диссертации. Например, коллективные эффекты в плазме модифицируют [V.N. Tsytovich and U. de Angelis, *Phys. Plasmas* **6**, 1093 (1999)] обычное дебаевское экранирование и приводят к притяжению пылевых частиц на дальних расстояниях. На силу притяжения между положительно заряженными пылевыми частицами может оказывать влияние термоэлектронная эмиссия [G. L. Delzanno, G. Lapenta, and M. Rosenberg, *Phys. Rev. Lett* **92** 35002 (2004)]. Важными могут быть также эффекты захваченных ионов [M. Lampe, V. Gavrishchaka, G. Ganguli, and G. Joyce, *Phys. Rev. Lett* **86** 5278 (2001); M. Lampe, et al., *Phys. Plasmas* **10** 1500 (2003)] и т.д. Здесь приведены лишь немногие ссылки на работы, посвященные

исследованию взаимодействия пылевых частиц в пылевой плазме. На самом деле таких работ гораздо больше. Автору диссертации следовало бы сформировать в ней еще одну главу, в которой необходимо было бы представить обзор работ по направлению исследований диссертации. Кроме того, необходимо было бы учесть влияние эффектов, рассмотренных другими авторами, и провести сравнение своих результатов с результатами других авторов.

Отмеченные недостатки, однако, не снижают научной и практической ценности диссертации, которая является важным научным исследованием, выполненном на высоком уровне с использованием современных методов физики плазмы, что характеризует соискателя как сложившегося физика-исследователя. 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 Родин Михаил Максимович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы.

Официальный оппонент:

Заведующий Лабораторией плазменно-пылевых процессов в космических объектах ИКИ РАН,  
доктор физико-математических наук,  
профессор

 С. И. Попель

«25» ноября 2022 г.

Адрес: 117997, г. Москва, ул. Профсоюзная 84/32  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
«Институт космических исследований Российской академии наук»  
<https://iki.cosmos.ru>  
E-mail: [popel@iki.rssi.ru](mailto:popel@iki.rssi.ru)  
Тел.: +7 (916) 625-62-64

Подпись С.И. Попеля заверяю

Ученый секретарь ИКИ РАН,  
кандидат физико-математических наук

 А. М. Садовский

