

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Института теоретической и прикладной механики
им. С.А. Христиановича Сибирского отделения
Российской академии наук,
Чл.-корр. РАН, д. ф.-м. н.,
Шиплюк Александр Николаевич



(Signature)

«28» сентября 2020

ОТЗЫВ

ведущей организации – Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Института теоретической и прикладной механики им. С.А.
Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук – о
диссертационной работе

Сальникова Михаила Владимировича

«Исследование анизотропии плазмы вокруг пылевых частиц
сферической и несферической формы», представленной на соискание учёной
степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 –
Механика жидкости газа и плазмы.

Актуальность темы диссертации Сальникова Михаила Владимировича,
посвящённой численному исследованию структуры плазменного потока,
обтекающему микронные твёрдые частицы, анализу основных характеристик
данной структуры для различных геометрий частиц и изучению возмущений,
возникающих в плазме вблизи цепочек пылевых частиц, не вызывает
сомнений. Пылевая плазма широко распространена как в космосе — земной
атмосфере, вблизи спутников Земли и в планетарных кольцах, так и
промышленности — в плазменных генераторах и плазмохимических
реакторах. Часто в пылевой плазме возникают упорядоченные структуры —
пылевые кристаллы. Известно, что за самоорганизацию пылевых частиц
отвечает возмущение в плазме, которое возникает вблизи пылевых зёрен,
находящихся в плазменном потоке. Однако в настоящее время нет
однозначной ясности о влиянии на эту структуру геометрии пылевых частиц,
частоты столкновений ионов с нейтральными атомами и напряженности
электростатического поля разряда.

В работе Сальникова Михаилом Владимировичем изложены результаты выполненных детальных численных исследований возмущений в плазме вблизи пылевых частиц, систематизированы характеристики этих возмущений; сформулированы новые выводы о зависимости параметров возмущения, индуцированного за пылевыми зёрнами, от частоты резонансных столкновений перезарядки между ионами и нейтральными атомами, формы самих пылевых зёрен и скорости плазменного потока.

Новизна представленных в диссертации положений заключается в следующем:

1. Создана итеративная численная модель, которая рассчитывает распределение потенциала вблизи микронных частиц пыли разной геометрии – как изолированных, так и объединённых в виде бесконечных цепочек – для различных частот столкновений ионов с нейтральными атомами и напряжённостей внешнего электростатического поля.
2. Получены эмпирические зависимости, которые с хорошей точностью аппроксимируют результаты численного расчёта: величину и положение локального максимума в потенциале, который возникает вблизи пылевой частицы, а также дипольный момент искажённого облака ионов.
3. Впервые показано, что зависимости потенциалов, индуцированных на поверхностях пылевых частиц разной формы, в случае, когда средняя длина свободного пробега превосходит ионную длину Дебая, совпадают.
4. Показано, что устойчивой ориентацией двух дисков, находящихся во внешнем электрическом поле, при учёте их диполь-дипольного взаимодействия, будет такое, где плоскости этих дисков лежат в плоскости вектора внешнего электрического поля.
5. Впервые показано, что пылевая частица в бесконечной цепочке является изолированной, если межчастичное расстояние достигает нескольких длин экранировки.

Диссертационная работа содержит введение, четыре главы, заключение и списка цитируемой литературы. Работа содержит 166 страницы, включая 62 рисунка. Список литературы включает 143 ссылки.

Во введении дано обоснование актуальности работы, сформулированы цели и задачи исследования, приводятся основные положения и наиболее важные научные результаты, выносимые на защиту, кратко изложено содержание диссертации.

Первая глава содержит обзор литературы. Здесь приведена историческая справка по исследованиям пылевой плазмы, эффектов, возникающих в пылевой плазме и структуры плазменных возмущений вблизи пылевой частицы. Приведен обзор современных методов, используемых для численного моделирования плазменных возмущений вблизи пылевой частицы.

Во второй главе проведено подробное описание первой части численной модели, где происходит расчёт самосогласованного потенциала плазмы вблизи изолированных сферических пылевых частиц, представлены результаты расчёта данным методом и приведён анализ полученных результатов. Показано влияния типа и частоты столкновений ионов с нейтральными атомами, размера частицы и напряжённости внешнего электростатического поля на параметры плазменного возмущения и дипольный момент ионного облака. Приведены эмпирические зависимости, которые с хорошей точностью аппроксимируют полученные зависимости.

В третьей главе проведено описание второй части численной модели, где происходит расчёт самосогласованного потенциала плазмы вблизи изолированных пылевых частиц, форма которых представляет собой вытянутые и сплюснутые эллипсоиды вращения, представлены результаты расчёта данным методом и приведён анализ полученных результатов. Показано влияния формы пылевой частицы на пространственное распределение потенциала плазмы. Приведено широкое сравнение со случаем изолированной сферической пылевой частицы. Расширены эмпирические зависимости, приведённые в главе второй.

В четвёртой главе проведено описание третьей части численной модели, где происходит расчёт самосогласованного потенциала плазмы вблизи бесконечной цепочки сферических пылевых частиц, представлены результаты расчёта данным методом и приведён анализ полученных результатов. Показано межчастичного расстояния и напряжённости внешнего поля на пространственные распределения объёмного заряда и потенциала плазмы вблизи цепочки. Продемонстрировано уменьшение заряда пылевых частиц, индуцированного плазменными потоками, при уменьшении межчастичного расстояния. Рассмотрен критерий изолированности пылевых частиц.

Выводы по диссертации приведены по главам, и основные результаты сформулированы в общем заключении по диссертации.

Достоверность полученных результатов основана на использовании общепринятых методов вычислительной математики. Полученные результаты расчёта заряда пылевой частицы, дрейфовой скорости ионов и параметров вейка от напряжённости электрического поля хорошо

согласуются с данными известных экспериментальных, численных и теоретических исследований.

Научная и практическая значимость работы заключается в разработанной модели, которая позволяет исследовать механизмы формирования возмущения в плазме вблизи пылевых зёрен для различных параметров газового разряда: давления, тока и формы микронных частиц. Исследования формирования и развития возмущений за пылевой частицей позволяют описать процесс самоорганизации пылевых частиц и формирования пылевых кристаллов, которые левитируют в слабоионизованной среде. Разработанная модель может быть использована для численного моделирования процессов, происходящих вблизи кластеров пылевых частиц. Результаты диссертации могут быть использованы при проектировании разработки плазмохимических реакторов, установок газового разряда и генераторов плазмы. Полученные результаты будут востребованы в организациях, осуществляющих научные исследования и прикладные разработки в области низкотемпературной и пылевой плазмы: ОИВТ РАН, ИТПМ СО РАН.

Материалы диссертационной работы были доложены на семинаре «Математическое моделирование в механике» ИТПМ СО РАН (30 января 2020 г.) за председательством академика Василия Михайловича Фомина. Было отмечено, что тематика и содержание диссертации актуальны и соответствуют профилю ведущей организации. Работа была оценена положительно. Высказанные критические замечания отражены в настоящем отзыве.

Результаты работы опубликованы в ведущих российских (ПМТФ) и зарубежных (Contributions to Plasma Physics, Physical Review E, IEEE) журналах, которые входят в перечень ВАК. Количество публикаций удовлетворяет критериям, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Результаты диссертационной работы обсуждались на международных симпозиумах, всероссийских конференциях и семинарах. Содержание автореферата соответствует основному содержанию диссертации.

Замечания к диссертационной работе:

1. Разработанная модель в приближении среднего поля находит решение уравнения Больцмана для функции распределения ионов. Однако в данной работе не представлены данные по пространственным распределениям скорости ионов, только распределение ионной плотности и потенциала. Вследствие этого анализ предоставленных результатов кажется неполным.

2. В диссертации рассмотрены упругие и резонансные столкновения перезарядки ионов с нейтральными атомами. Проведя сравнение с экспериментальными данными, автор делает вывод, что можно учитывать лишь резонансные столкновения. Не даны оценки погрешностей, которые автор работы допускает, пренебрегая упругими столкновениями.
3. В диссертации распределение плотности электронов задаётся распределением Больцмана. Известно, что, для высокой напряжённости электрического поля, такое приближение оказывается неверным. Не приведена оценка погрешности, которая возникает в расчёте данным подходом.
4. В диссертации вскользь упомянуты вопросы сходимости разработанной модели. Какие ограничения накладываются на вычислительную область, геометрию сегментов пространства, временной шаг и длительность итераций для того, чтобы расчёт в данной модели сходился?

Сделанные замечания не снижают научной и практической значимости диссертации, которая является завершённой научно-квалификационной работой. На основании выполненных автором исследований возмущений плазмы вблизи пылевых зёрен разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение в области исследований явлений, возникающих в низкотемпературной плазме.

Исходя из актуальности, новизны, научной и практической значимости данной работы, можно сделать заключение, что диссертация Сальникова Михаила Владимировича «Исследование анизотропии плазмы вокруг пылевых частиц сферической и несферической формы», представленная на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости газа и плазмы, выполнена на высоком научном уровне, удовлетворяет всем критериям п.9 «Положения о присуждении научных степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Сальников Михаил Владимирович заслуживает присуждения ему искомой степени.

Старший научный сотрудник лаборатории №7
кандидат физико-математических наук.



Александров Андрей Леонидович
« 28 » 09 2020 г.

Наименование организации: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук

Почтовый адрес: Россия, 630090, г. Новосибирск,

Ул. Институтская 4/1

Телефон: (383) 330-42-68

Факс: (383) 330-72-68

Эл. почта: admin@itam.nsc.ru

Сайт: www.itam.nsc.ru