

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 003.053.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА ТЕПЛОФИЗИКИ
ИМ. С.С. КУТАТЕЛАДЗЕ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ
АКАДЕМИИ НАУК, МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК**

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 25.11.2020 г. № 9/2020

О присуждении Сальникову Михаилу Владимировичу, гражданство Российской Федерации, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Исследование анизотропии плазмы вокруг пылевых частиц сферической и несферической формы» по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы принята к защите 24.09.2020 г., протокол № 5-1/2020, диссертационным советом Д 003.053.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН), Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 1, утвержденным приказом Рособрнадзора №105/НК от 11.04.2012 года.

Соискатель Сальников Михаил Владимирович, 1994 года рождения, на момент защиты диссертации работает в должности младшего научного сотрудника в ИТ СО РАН. В 2016 году соискатель с отличием окончил магистратуру Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Новосибирского государственного университета» (НГУ) по направлению «Физика», в 2020 году

закончил очную аспирантуру Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук по направлению подготовки 01.06.01 – Математика и механика.

Диссертация выполнена в научно-исследовательских лабораториях разреженного газа и синтеза новых материалов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук. Научный руководитель – доктор физико-математических наук, доцент Сухинин Геннадий Иванович, главный научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории разреженных газов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук.

Официальные оппоненты: Василяк Леонид Михайлович, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории плазменно-пылевых процессов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (г. Москва) и Снытников Валерий Николаевич, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник отдела нетрадиционных каталитических процессов Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федерального исследовательского центра «Института катализа им. Г.К. Борескова Сибирского отделения Российской академии наук» (г. Новосибирск) дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск, в своём положительном заключении, подписанном Александровым Андреем Леонидовичем, к.ф.-м.н., старшим научным сотрудником лаборатории №7 ИТПМ СО РАН, указала, что «...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...», «...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...».

Соискатель имеет 34 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 16 работ, опубликовано в рецензируемых научных изданиях 9 работ, из них в изданиях из списка ВАК 9 работ (общим объемом 64 стр.). Вклад Сальникова Михаила Владимировича в опубликованных работах является определяющим и состоит в: создании физико-математической численной модели; проведении численных расчётов и определении зависимостей пространственных распределений потенциала и плотности объёмного заряда холодной плазмы от параметров пылевой плазмы; анализе и интерпретации полученных результатов; в формулировке заключений, послуживших основой для выводов диссертации.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Сухинин Г.И., Сальников М.В., Федосеев А.В. Вейки в пылевой плазме. сравнение численных методов // Прикладная механика и техническая физика. – 2018. – Т. 59, № 5 (351). – С. 59-69.
2. Sukhinin G.I., Fedoseev A.V., Salnikov M.V., Rostom A., Vasiliev M.M., and Petrov O.F. Plasma anisotropy around a dust particle placed in an external electric field // Phys. Rev. E. – 2017. – Vol. 95. – P. 063207.
3. Sukhinin G.I., Fedoseev A.V., Salnikov M.V. Effect of ion mean free path length on plasma polarization behind a dust particle in an external electric field // Contributions to Plasma Physics. – 2019. – P. e201800152.

4. Sukhinin G.I., Fedoseev A.V., Salnikov M.V. The influence of dust particle geometry on its charge and plasma potential // Contributions to Plasma Physics. – 2019. – P. e201800153.
5. Sukhinin G.I., Salnikov M.V., Fedoseev A.V., Rostom A. Plasma polarization and wake formation behind a dust particle in an external electric field // IEEE Transactions on Plasma Science. – 2018. – Vol. 46. – P. 749-754.

На автореферат диссертации поступило 4 отзыва. Все отзывы положительные, содержат замечания. В отзывах отмечено, что диссертация выполнена на высоком научном уровне, тема исследования является актуальной, результаты работы имеют теоретическую, научную и практическую значимость и содержат информацию, полезную для развития физических представлений о механизме возникновения ионной фокусировки вблизи пылевых частиц, образования вейка в пространственном распределении электрического потенциала плазмы, образования структур сильносвязанных пылевых частиц.

В отзыве д.ф.-м.н., профессора, академика НАН РК Рамазанова Тлеккабула Сабитовича, проректора по научно-инновационной деятельности Казахского Национального Университета имени аль-Фараби, содержатся два замечания: «На Рисунке 1, Главы 2, где представлены зависимости дрейфовой скорости от приведённого поля для двух типов взаимодействий ионов с нейтральными атомами: упругих столкновений и резонансной перезарядки ионов с нейтральными атомами. В дальнейшем в автореферате не упомянуто, учёт каких типов столкновений производится. В объяснении Рисунка 12, Главы 4, автором указано, что при возрастании напряжённости внешнего электростатического поля «анизотропия» сначала растёт, а затем уменьшается. Автору стоит избегать таких неточных формулировок и пояснить: «анизотропия» чего? Имеется ввиду пространственное распределение плотности ионов, потенциала или всего сразу?».

В отзыве д.ф.-м.н. Карасева Виктора Юрьевича, профессора Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургского государственного университета», содержатся два замечания: «Для рисунка 2 отсутствуют пояснения

того, почему экспериментальные данные отличаются от результатов численного моделирования»; «Выполненные расчёты относятся к пылевым гранулам размером порядка 1 мкм, т.е., существенно меньше длины экранирования, например ионной. В экспериментах с уединёнными частицами, когда есть возможность их прямого наблюдения в плазме в микроскоп, применяются крупные частицы (до 60 мкм в диаметре). Может ли представленный метод учёта анизотропии быть потенциально расширен на такие частицы?».

В отзыве д.ф.-м.н. Зобнина Андрея Вячеславовича, старшего научного сотрудника лаборатории 17.1 – плазменно-пылевых процессов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединённого института высоких температур Российской академии наук, содержится два замечания: «Техническое замечание по оформлению рисунков 4(б) и 5(б): В подписях на осях фигурирует $R_{l,max}$ в то время как в тексте и в подписях к рисункам эта величина обозначается как Z_{max} »; «Замечание по представлению некоторых результатов расчётов. Использование дипольного момента системы заряженная частица – ионное облако в качестве физического параметра оправдано лишь при условии, что поле вне области пространства, для которой вычисляется дипольный момент, допускает мультипольное разложение. Фактически это выполняется, только если размер области на много превышает длину свободного пробега ионов и подвижность ионов не зависит от напряжённости поля. Если эти условия не соблюдаются, то величина дипольного момента зависит от размера и формы той области пространства, в которой он вычисляется».

В отзыве к.ф.-м.н. Коробейщикова Николая Геннадьевича, ведущего научного сотрудника отдела прикладной физики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирского национального исследовательского государственного университета» содержится три замечания: «При сопоставлении полученных автором результатов с результатами других авторов указаны неполные литературные данные (только фамилии первого автора и год публикации), что затрудняет корректное сравнение»; «На стр. 20 при описании зависимости

дипольного момента от напряжённости внешнего поля автор утверждает, что функция растёт линейно, хотя использует полулогарифмический масштаб осей»; «Автором не всегда приводится физическая трактовка полученных результатов. Например, для рисунка 9, где обобщены зависимости дипольного момента для пылевых частиц различной формы».

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что д.ф.-м.н. Василяк Л.М. является известным специалистом в области исследований пылевой плазмы. Под руководством Василяка Л.М. в ОИВТ РАН выполнен цикл работ по тепловым и импульсным воздействиям на пылевую плазму для стабилизации пылевых структур или их разрушения. Его командой выполнены первые в мире исследования влияния термофореза в пылевой плазме, а также проведены первые исследования при криогенных температурах. По его предложению была создана совместная экспериментальная установка в Институте внеземной физики Общества Макса Планка (МРЕ, Германия), на которой были проведены исследования по параметрическому возбуждению плоского пылевого кластера наносекундными высоковольтными импульсами, а также динамики плазмы в режиме полного удаления электронов приложенным электрическим импульсом. К.ф.-м.н. Снытников В.Н. является ведущим специалистом в разработке численных моделей, моделирующих механические, электродинамические и гравитационные процессы, возникающие в космической плазме. Большой накопленный Снытниковым В.Н. опыт в областях науки: вычислительная математика, механика жидкости, газа и плазмы, астрофизика, физика плазмы позволяет провести критическую оценку диссертационной работы Сальникова М.В. Выбор ведущей организации обоснован тем, что ее сотрудниками проводятся исследования в научной области, к которой относится диссертационная работа, в том числе к.ф.-м.н. Александров А.Л. является признанным специалистом, имеющим публикации, непосредственно связанные с темой диссертации, и может дать всестороннюю квалифицированную оценку диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что соискателем разработана физико-математическая модель для определения зависимостей характеристик системы «пылевая частица – ионное облако» от основных параметров пылевой плазмы. Развивая известные ранее подходы, предложенная модель учитывает несферичность формы пылевой частицы; дипольный момент ионного облака, формирующегося вокруг пылевой частицы; влияние средней длины свободного пробега ионов на искажение пространственного распределения плотности объёмного заряда и электрического потенциала плазмы вокруг изолированной пылевой частицы. Соискателем впервые применен оригинальный метод расчета самосогласованных пространственных распределений в пылевой плазме, основанный на итерационном расчёте уравнения Пуассона, в котором произведено разложение плотности объёмного заряда по полиномам Лежандра, целью которого является построение установившегося решения уравнений движения заряженных частиц. Предложенная модель позволяет проводить расчёты пространственных распределений плазмы как для изолированных пылевых частиц, так и для бесконечной цепочки пылевых частиц. В результате применения экономичного по вычислительным ресурсам алгоритма исследованы явления ионной фокусировки вблизи изолированной пылевой частицы и возникновения вейка в пространственном распределении электрического потенциала плазмы; получены новые данные о зависимостях пространственных распределений объёмной плотности заряда и электрического потенциала плазмы, заряда пылевой частицы, характеристик вейка и ионного облака от напряжённости внешнего электростатического поля, длины свободного пробега ионов и формы пылевой частицы; построены новые аппроксимации, которые с хорошей точностью описывают эти зависимости; показано, что, в случае разреженной плазмы, зависимость заряда пылевой частицы формы эллипсоида вращения от средней длины свободного пробега ионов повторяет вид аналогичной зависимости для сферической частицы; показано, что, характеристики вейка определяются электрической ёмкостью пылевой частицы, когда её форма представляет собой эллипсоид вращения; показано, что

дипольный момент ионного облака, сформированного вокруг отдельно взятой пылевой частицы в цепочке, уменьшается с увеличением напряжённости внешнего электростатического поля.

Теоретическая и научная значимость исследования обоснована тем, что подробно раскрыт, изучен и описан механизм возникновения ионной фокусировки вблизи пылевых частиц, образования вейка в пространственном распределении электрического потенциала плазмы. Построенные аппроксимации позволяют учесть диполь-дипольное взаимодействие между изолированными пылевыми частицами, левитирующими в стратифицированном газовом разряде, а также учесть зависимость этого диполь-дипольного взаимодействия от напряжения разряда, давления газа и плотности пылевых частиц. Полученные зависимости характеристик вейка от параметров плазмы позволяют учитывать влияние, которое пылевые частицы оказывают друг на друга через неустойчивости, возникающие в пространственном распределении электрического потенциала плазмы.

Практическая значимость полученных соискателем результатов исследования заключается в том, что они важны для разработки плазменных генераторов и создания установок плазменного напыления. Эти результаты востребованы в исследованиях, направленных на решение проблем, связанных с: зарядкой поверхности космических аппаратов в ближнем космосе; проектированием объектов, находящихся на поверхности космических тел, не обладающих атмосферой; использованием плазмы холодного разряда в технологиях очистки воздушной среды от ультрадисперсных частиц, в том числе бактерий и вирусов; а также с другими перспективными приложениями пылевой плазмы.

Достоверность полученных результатов основывается на том, что разработанная физико-математическая модель основывается на известных подходах, развивая их. Для расчетов используется аппарат вычислительной математики. Установлено, что размеры и форма вычислительной области и сетки, вид начального электрического потенциала, величина начального заряда пылевой частицы, частота итераций, уменьшение шага по времени не влияют

на получаемый результат. Проведены тестовые расчеты пространственного распределения электрического потенциала вблизи сферической и несферической проводящей фигуры в вакууме и в низкотемпературной плазме. Результаты этих расчетов сопоставлены с известными литературными данными. Проведено сравнение полученных данных: зависимости средней дрейфовой скорости ионов от приведенного поля и параметров вейка от скорости потока плазмы с известными результатами численных и экспериментальных исследований.

Постановка задач исследований осуществлена Сальниковым М.В. совместно с научным руководителем д.ф.-м.н. Сухининым Г.И. Соискателю принадлежит основной вклад в создание физико-математической модели и разработку метода численного решения. Автором диссертации лично выполнены расчеты и определены зависимости свойств системы «пылевая частица – ионной облако» от напряжённости внешнего электростатического поля, а также проведены обработка, обобщения и интерпретация полученных данных.

Диссертационным советом сделан вывод о том, что диссертация Сальникова Михаила Владимировича представляет собой научно-квалификационную работу, в которой содержится решение задачи определения электродинамических и механических свойств системы, состоящей из изолированной пылевой частицы, помещённой в низкотемпературную плазму. Полученные результаты имеют существенное значение для механики жидкости газа и плазмы. Представленная диссертационная работа соответствует критериям п. 9. «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утверждённого постановлением Правительства РФ № 842 от 29.04.2013.

На заседании 25.11.2020 г. диссертационный совет принял решение присудить Сальникову Михаилу Владимировичу ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы.

При проведении открытого голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, в том числе 8 человек присутствовали лично и 10 человек в удаленном интерактивном режиме, из них 7 докторов наук по специальности

01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы, участвовавших в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 18, против 0, воздержался 0.

Председатель

диссертационного совета

д.ф.-м.н., академик РАН

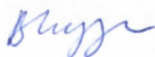


Алексеев Сергей Владимирович

Учёный секретарь

диссертационного совета

д.ф.-м.н., профессор



Кузнецов Владимир Васильевич



26.11.2020 г.