

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.1193.01
(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 28.12.2022 г. № 37

О присуждении Кононову Евгению Александровичу, гражданину Российской Федерации ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Активное броуновское движение сильновзаимодействующих заряженных частиц в газоразрядной плазме» по специальности 1.3.9 – физика плазмы принята к защите 26.10.2022 г., (протокол заседания № 27) 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 образования и науки Российской Федерации № 86/нк от 26.01.2022 г.

Соискатель Кононов Евгений Александрович 1991 года рождения, в 2015 году окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ».

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, профессор, академик, директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук Петров Олег Федорович

Официальные оппоненты:

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

- доктор физико-математических наук, профессор кафедры Физики неравновесных процессов Физического факультета Новосибирского государственного университета, главный научный сотрудник Лаборатории разреженных газов 4.1 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского Отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН) Сухинин Геннадий Иванович

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 08.12.2022 г. директором, чл.-корр. РАН Гарновым С.В.) указала, что научная значимость и новизна работы обусловлена тем, что изучение явлений, связанных с структурными переходами в активных системах, в том числе в

плазменно-пылевых структурах активных броуновских частиц позволяют исследовать эволюцию и самоорганизацию сильнонеидеальных диссипативных систем. Динамика активных систем в лабораторных условиях может быть весьма разнообразна: от образования и разрушения структур до их качественной эволюции. Управление коллоидными системами, находящимися в неравновесном состоянии, является фундаментальной задачей, которая может быть полезной для разработки инновационных материалов, а также для понимания закономерностей активности у искусственных и живых объектов.

Представляется целесообразным использование результатов настоящей работы в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Объединенном институте высоких температур РАН», Национальном исследовательском центре «Курчатовский институт», Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Физическом институте им. П.Н. Лебедева РАН», Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ», Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)», Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Федеральном исследовательском центре химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Федеральном исследовательском центре «Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН» и других научных организациях.

Соискатель имеет 9 опубликованных работ по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях:

1. *Kononov E.A., Vasiliev M.M., Vasilieva E.V., Petrov O.F. «Particle Surface Modification in the Near-Electrode Region of an RF Discharge» // Nanomaterials. – 2021. – V. 11. – P. 2931.*

2. Koss K.G., *Kononov E.A.*, Lisina I.I., Vasiliev M.M., Petrov O.F. «Dynamic Entropy of Two-Dimensional Active Brownian Systems in Colloidal Plasmas» // *Molecules*. – 2022. – V. 27. – P. 1514.
3. Arkar K., Vasiliev M.M., Petrov O.F., *Kononov E.A.*, Trukhachev F.M., «Dynamics of Active Brownian Particles in Plasma» // *Molecules*. – 2021. – V. 26. – P. 561.
4. Vasiliev M.M., *Kononov E.A.*, Arkar K., Petrov O.F., «Dynamics of motion of particles with a modified surface in a dusty plasma monolayer» // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2020. – V. 1556. – P. 012074.
5. *Кононов Е.А.*, Васильев М.М., Петров О.Ф., «Лазерно-индуцированный фазовый переход в монослое полимерных частиц, левитирующих в газоразрядной плазме низкого давления» // *Журнал Экспериментальной и Теоретической Физики*. – 2018. – Т. 153(5), – С. 721-725.
6. *Kononov E.A.*, Vasiliev M.M., Petrov O.F., «Localization of active particles in chain structures in a direct current discharge under external influence» // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2020. – V. 1556. – P. 012075.
7. Болтнев Р.Е., Васильев М.М., *Кононов Е.А.*, Петров О.Ф., «Явления самоорганизации в криогенной газоразрядной плазме: формирование пылевого облака наночастиц и плазменно-пылевых волн» // *Журнал Экспериментальной и Теоретической Физики*. – 2018. – Т. 153(4), – С. 671-676.
8. Boltnev R.E., Vasiliev M.M., *Kononov E.A.*, Petrov O.F., «Formation of solid helical filaments at temperatures of superfluid helium as self-organization phenomena in ultracold dusty plasma» // *Scientific Reports*. – 2019. – V. 9. – P. 3261.
9. Boltnev R.E., *Kononov E.A.*, Trukhachev F.M., Vasiliev M.M., Petrov O.F., «Synthesis of nanoclusters and quasy one-dimensional structures in glow discharge at $T \approx 2$ K» // *Plasma Sources Science and Technology*. – 2020. – Vol. 29. – P. 085004.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования «Белорусско-Российский университет» (доцент кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок», к.ф.-м.н., Обидина О.В.) – отзыв положительный, с замечаниями: 1) в подписях к рисункам 5, 6, а также в тексте часто встречается фраза «мощность лазерного излучения». В данном случае необходимо использовать общепринятые термины «интенсивность лазерного излучения» или «мощность лазера»; 2) на странице 18 есть ссылки на рисунки 3.7с, 3.7d, которых нет в тексте реферата. По-видимому, речь идет о рисунках 7с, 7d.

2. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А.Г. Мержанова Российской академии наук» (ИСМАН) (Главный научный сотрудник лаборатории горения дисперсных систем, д.х.н. Рубцов Н.М.) – отзыв положительный, с пожеланием:

- в первом случае состав малых нанокластеров не исследовали;
- во втором случае хоть и показано, что источником металлов являются электроды и другие металлические поверхности, подвергающиеся распылению, но не предложено, как можно осаждать на частицы заданный металл.

3. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН) (м.н.с Лаборатории разреженных газов, к.ф.-м.н., Сальников М.В.) – отзыв положительный, с замечаниями:

- автореферат содержит ряд опечаток и неточностей;
- из автореферата остается непонятным насколько двумерным является движение частиц в монослое в электростатической ловушке высокочастотного разряда? Как учет дополнительной степени свободы может повлиять на полученные результаты?

4. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ

РАН) (заведующий лабораторией плазменно-пылевых процессов в космических объектах, д.ф.-м.н., профессор Попель С.И.) - отзыв положительный, без замечаний.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается:

- 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. Карасев В.Ю., Дзлиева Е.С., Павлов С.И., Новиков Л.А., Машек И.Ч. Пылевая плазма в сильно неоднородном магнитном поле // Письма в журнал технической физики, Том 46, номер 8, с. 18-20, 2020;
2. Dzlieva E.S., Dyachkov L.G., Novikov L.A., Pavlov S.I., Karasev V.Yu. Complex plasma in glow discharge in a strong magnetic field // EPL, vol. 123, no. 1, p. 15001, 2018;
3. Dzlieva E.S., Dyachkov L.G., Novikov L.A., Pavlov S.I., Karasev V.Yu. Fast rotation of dust particle structures in dc glow discharge in a strong magnetic field // Plasma Sources Sci. Technol., vol. 28, no. 8, p. 085020, 2019.

- д.ф.-м.н., профессор Сухинин Г.И. является ведущим ученым в области моделирования плазмы газового разряда в присутствии дополнительной заряженной компоненты в виде пылевых частиц.

1. Salnikov M.V., Fedoseev A.V., Sukhinin G.I. Plasma parameters around a chain-like structure of dust particles in an external electric field // Molecules, vol. 26, no. 13, p. 3846, 2021;
2. 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, vol. 46, no. 4, p. 749-754, 2018;
3. Fedoseev A.V., Demin N.A., Salnikov M.V., Sukhinin G.I. Non-local electron kinetics around the cloud of dust particles // Contributions to Plasma Physics, vol. 59, no. 5, p. e201800181, 2019.

- 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. Плазменный кристалл как временной кристалл // Физика плазмы, Том 47, номер 2, с. 117-125, 2021;
2. Игнатов А.М. Устойчивость линейного плазменного кристалла // Физика плазмы, Том 46, номер 3, с. 213-218, 2020;
3. Игнатов А.М. Коллективная сила ионного увлечения // Физика плазмы, Том 45, номер 9, с. 825-830, 2019.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

– Выявлено, что при попадании макрочастиц в плазму высокочастотного разряда на поверхность частиц, левитирующих над нижним электродом разрядной камеры, начинают осаждаться металлы, при этом изменение элементного состава поверхности нелинейно во времени. Электроды и элементы газоразрядной камеры, подвергшиеся эрозии, могут служить источником осажденного материала.

– Показано, что при воздействии лазерного излучения динамика движения макрочастиц с модифицированной поверхностью в монослое изменяется и соответствует трем режимам: удержание ловушкой, броуновское движение и комбинированное направлено-случайное движение;

– Показано уменьшение степени упорядоченности монослоя из модифицированных частиц при увеличении интенсивности лазерного излучения. Наблюдался лазерно-индуцированный структурный переход

«кристалл-жидкость» в монослое модифицированных макрочастиц, левитирующих в приэлектродном слое емкостного высокочастотного разряда;

– Проведенный анализ структурных и динамических характеристик активных броуновских макрочастиц в цепочечной структуре, сформированной в плазме тлеющего разряда постоянного тока, демонстрирует, что активность макрочастиц растет с увеличением интенсивности лазерного излучения, приводя к структурному переходу с обменом фрагментами цепочек.

– Впервые исследована мультимодальная пылевая плазма, сформированная в положительном столбе тлеющего разряда постоянного тока при температуре сверхтекучего гелия. Впервые наблюдались твердые спиральные волокна, левитирующие в газовом разряде при температуре ~ 2 К и давлении 4 Па.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

– Установлено, что полимерные частицы с модифицированной поверхностью являются активными броуновскими частицами и их активность растет с увеличением интенсивности лазерного излучения;

– Предложено объяснение структурного перехода и возникновения активных свойств частиц с модифицированной поверхностью при воздействии лазерного излучения с учетом роли фотофоретической силы в движении макрочастиц;

Значение полученных соискателем результатов **исследования для практики подтверждается** тем, что:

– Предложена и апробирована методика модификации частиц, расположенных на электроде, в плазме высокочастотного разряда. Данный подход применен для создания нового объекта исследования – янус-частиц;

– Предложено объяснение возникновения второй и третьей компонент мультимодальной пылевой плазмы – облака наночастиц и волокон – как

результат распыления материала диэлектрической вставки, используемой для концентрации потока электронов на оси разрядной трубки;

Результаты работы могут оказаться полезными широкому кругу специалистов, в том числе занимающихся созданием новых конструкционных и функциональных материалов, изучением свойств активных коллоидных систем и разработкой приложений, связанных с их использованием. Модификация частиц приводит к развитию у них уникальных функциональных свойств поверхности и состава, которые могут быть использованы как в медицинских и технических целях (адресная доставка лекарств и создание порошковых основ для композитных материалов), так и в научных (создание активных янус-частиц для изучения самоорганизации в коллоидных и плазменно-пылевых системах).

Представляется целесообразным использование результатов настоящей работы в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Объединенный институт высоких температур РАН», Национальном исследовательском центре «Курчатовский институт», Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН», Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ», Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)», Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Федеральном исследовательском центре химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Федеральном исследовательском центре «Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН» и других научных организациях.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что достоверность полученных результатов подтверждается проведением

измерений на современном поверенном оборудовании при использовании апробированных ранее методик, анализом погрешностей измерений, согласием результатов, полученных различными методиками. Представленные в диссертационной работе результаты экспериментальных исследований подтверждаются согласием с имеющимися экспериментальными данными, существующими теоретическими моделями и результатами численных исследований других авторов. Результаты исследований многократно докладывались и обсуждались на международных и всероссийских научных конференциях с международным участием.

Личный вклад соискателя состоит в развитии конкретных направлений в рамках обозначенной тематики работы, постановке экспериментов. Основные результаты, изложенные в диссертационной работе, получены автором при проведении экспериментов. Автор принимал активное участие в подготовке и проведении экспериментальных работ, обработке и анализе результатов; автор активно участвовал в совместных обсуждениях и подготовке рукописей к публикации.

Апробация результатов исследования проводилась на 11 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 Кононов Евгений Александрович ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы, привел собственную аргументацию, согласился с высказанными замечаниями.

На заседании от 28.12.2022 г. диссертационный совет принял решение, за выполнение научной задачи, имеющей значение для исследования активного броуновского движения частиц, формирующих упорядоченные структуры в газоразрядной плазме, присудить Кононову Евгению Александровичу ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы.

При проведении тайного голосования Диссертационный совет в количестве 23 человек, из них очно: 6 докторов наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы и 5 докторов наук по специальности 1.3.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника, дистанционно: 3 доктора наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы и 6 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 23, против 0, недействительных бюллетеней - 0.

Зам. председателя диссертационного совета 24.1.193.01 (Д 002.110.02)

д.ф.-м.н., профессор

Храпак А.Г.

Ученый секретарь диссертационного совета 24.1.193.01 (Д 002.110.02)

к.ф.-м.н.

Тимофеев А.В.

28.12.2022 г.

