

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 24.1.193.01,  
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 29.12.2021 г. № 35

О присуждении АркарЧжо, гражданину республики Мьянма ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Динамика и структуры активных броуновских частиц в плазме» по специальности 1.3.9–физика плазмы принята к защите 27.10.2021г., (протокол заседания №28) 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 № 105/нк от 11.04.2012г. (ред. 1046/нк от 15.10.2021г.)

Соискатель АркарЧжо 1990 года рождения, в 2015 году окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)».

В 2021 году окончил очную аспирантуру Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)».

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Объединенном институте высоких температур Российской академии наук.

Научный руководитель доктор физико-математических наук, профессор, академик РАН, главный научный сотрудник лаборатории 17.2Диагностики пылевой плазмы Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук Петров Олег Федорович.

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 Попель Сергей Игоревич;

- доктор физико-математических наук, профессор кафедры общей физики Санкт-Петербургского государственного университета (СПбГУ) Карасев Виктор Юрьевич

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт Общей Физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук (г. Москва) в своем положительном заключении, составленном главным научным сотрудником, доктором физико-математических наук, профессором Гусен-Заде Н.Г. и главным научным сотрудником, доктором физико-математических наук, профессором Игнатовым А.М. (утвержденном 10.12.2021 Директором ИОФ РАН, член-корреспондентом РАН Гарновым С.В.) указала, что научная новизна и значимость работы обусловлена тем, что активные среды получили широкое применение при изучении процессов самоорганизации в термодинамически открытых системах. В этой концепции понятие «активной среды» охватывает широкий круг объектов как живой, так и неживой природы, которые проявляют динамические свойства, не укладывающиеся в рамки классической термодинамики и статистической физики. Составным элементом новой концепции активных сред является понятие «активная броуновская частица». Активной броуновской частицей называют

броуновскую частицу, способную преобразовывать энергию, получаемую извне, в собственную кинетическую энергию направленного движения. Самодвижущиеся броуновские частицы (микро-, нано-пловцы) находятся в центре внимания научных сообществ, занимающихся физическими и биофизическими исследованиями. Фундаментальная значимость исследований в области активных броуновских частиц состоит в развитии физики эволюции термодинамически открытых систем, установлении принципов самоорганизации и самосборки. Приложениями физики активных броуновских частиц являются: исследования в области доставки лекарственных веществ, разработка новых материалов с параметрами, недостижимыми для пассивных компонентов и др.

Результаты экспериментальных исследований, представленных в данной диссертационной работе, могут оказаться полезными широкому кругу специалистов, в том числе занимающихся изучением физических свойств сильнонеидеальных кулоновских систем и разработкой приложений, связанных с их использованием. В частности, для решения актуальных задач, связанных с оптимизацией транспортных процессов в активных средах. Знания о динамике и способах управления активными броуновскими частицами могут оказаться полезными для контроля потоков вещества в миниатюрных устройствах типа "lab-on-a-chip", прицельной доставки лекарств или микроустройств к больным органам, разрушения вредных веществ в окружающей среде, при разработке каталитических нано- и микромоторов.

Представляется целесообразным использовать результаты настоящей работы в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Объединённом институте высоких температур РАН, Национальном исследовательском центре "Курчатовский институт", в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физическом институте им. П.Н. Лебедева РАН, в Федеральном государственном бюджетном учреждении высшего образования Московском энергетическом институте, в

Московском физико-техническом институте (национальном исследовательском университете), в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте химической физики РАН, в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте общей физики им. А.М. Прохорова РАН и других научных организациях.

Соискатель имеет 9 печатных работ, включая 3 статьи в рецензируемых журналах из перечня ВАК:

1. Arkar K., Vasiliev M.M., Petrov O.F.; Kononov, E.A., Trukhachev F.M., Dynamics of active brownian particles in plasma // *Molecules*. – 2021. – Vol.26, I. 3. – P. 561.

2. 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. – Vol. 1556. – P. 012074.

3. Arkar K., Vasiliev M.M., Petrov O.F., Brownian motion of a lone dust particle in plasma of radio frequency discharge // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2019. – Vol. 1147. – P. 012113.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. **Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А.Г. Мержанова Российской академии наук** (г.н.с. лаборатории горения дисперсных систем ИСМАН, д.х.н. Рубцов Николай Михайлович) – отзыв положительный, с замечаниями:

- Хотелось бы, чтобы автор рассмотрел критерии "особенности" частиц, получаемых методом селективного напыления. Резкое снижение симметрии янус-частицы (одна ось симметрии) по сравнению с полностью покрытой (или непокрытой) обеспечивает её "особенность". А будет ли "особенной" частица, у которой верхняя правая и нижняя левая четверти покрыты проводящим слоем? Можно ли составить иерархию разбиений на проводящие и непроводящие слои для перехода от регулярной к "особенной" частице?

**2. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук** (Младший научный сотрудник, к.ф.-м.н. Сальников Михаил Владимирович) – отзыв положительный, с замечаниями и вопросами:

- Автореферат содержит небольшое число опечаток и неточностей. Из автореферата остается непонятным насколько двумерным (в плоскости) является движение частиц в электростатической ловушке особенно для Янус частиц, которые движутся не по круговой орбите? Как учет дополнительной степени свободы, если она не рассматривалась, может повлиять на полученные результаты?

**3. Институт физики НАН Беларуси** (старший научный сотрудник центра «Физика плазмы», к.ф.-м.н., Казак Александра Витальевна) – отзыв положительный, с замечаниями:

- Обычно зависимость среднеквадратичного смещение частиц от времени используют для характеристики активности броуновского движения в «неограниченном» пространстве (без потенциальных ловушек). Уместно ли использовать указанный инструмент в условиях электростатической ловушки?

**4. Филиала федерального бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра химической физики им. НН. Семенова Российской академии наук** (старший научный сотрудник центра, к.ф.-м.н., Пельменёв Александр Альбертович) – отзыв положительный, с замечаниями:

- В автореферате имеются опечатки и неточности. Из представленных результатов совсем не понятно использовалась ли вторая видекамера за контролем движения частиц в ловушке, т.е. двигались ли они исключительно в горизонтальной плоскости, и позволяли ли положение по высоте, и ширина лазерного «ножа» в принципе заметить выход частиц из плоскости?

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается:

- д.ф.-м.н., профессор Попель С.И. является известным физиком в области пылевой ионосферной и космической плазмы, автор более 100 научных работ, в том числе:

1. Голубь А. П., Попель С.И., Нестационарные процессы при формировании пылевой плазмы у поверхности Фобоса // Письма в ЖЭТФ, 2021, 113(7), стр.440–445;
2. Попель С. И., Голубь А. П., Захаров А. В. и др., Формирование плазменно-пылевых облаков при ударе метеороида о поверхность Луны // Письма в ЖЭТФ, 2018, 108(6), стр. 379–387;
3. Popel S.I.; Zelenyi L.M. Dusty plasmas over the Moon // Journal of plasma physics, 2014, V. 80, Special issue SI, PP. 885-893, part 6.

- д.ф.-м.н., профессор Карасев В.Ю. является признанным специалистом в области экспериментального изучения пылевой плазмы и автором более 100 научных работ, в том числе:

1. Абдирахманова А.Р., Карасев В.Ю., Дзлиева Е.С. и др., Вращение пылевой структуры в сильном неоднородном магнитном поле // ТВТ, 2021, 59(5), стр. 657–662;
2. Golubovskii Yu., Karasev V., Kartasheva A. Dust particle charging in a stratified glow discharge considering nonlocal electron kinetics // Plasma sources science & technology, 2017, V.26, Issue 11, ArticleNumber115003;
3. Карасев В.Ю., Дзлиева Е.С., Горбенко А.П., Машек И.Ч., Полищук В.А., Миронова И.И. Изменение текстуры поверхности полимерных материалов в пылевой плазме // Журнал технической физики, 2017, Т. 87, № 3, С. 473-475.

- Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт Общей Физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук является одним из ведущих институтов, занимающихся исследованиями в области неидеальной плазмы, в том числе пылевой плазмы, сотрудниками института опубликовано более 100 научных работ в области физики пылевой плазмы, в том числе:

1. Ignatov A.M., Effect of Nonreciprocal Forces on the Stability of Dust Clusters // Plasma Physics Reports, 2021, 47(5), pp.410-418;

2. Скворцова Н.Н., Малахов Д.В., Степахин В.Д. и др. Инициация пылевых структур в цепных реакциях под воздействием излучения гиротрона на смесь порошков металла и диэлектрика с открытой границей // Письма ЖЭТФ, 2017г., т. 106, № 4, стр. 240.

3.Цытович В.Н., Гусейн-заде Н.Г., Игнатов А.М. Нелинейная экранировка пылевых частиц и структуризация пылевой плазмы. II. Образование и устойчивость структур // Физика плазмы, 2017, в. 43, № 10, PP 812-836.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

- определены параметры газового разряда и пылевых частиц с различными свойствами поверхности (макрочастиц без поглощающего слоя; макрочастиц с металлическим покрытием, поглощающих лазерное излучение; янус-частиц), при которых возможна левитация уединенных частиц в приэлектродном слое;

- проведен сравнительный анализ экспериментальных данных о динамике уединенных макрочастиц с различными свойствами поверхности в ВЧ разряде;

- исследованы процессы самоорганизации и эволюции кластера, сформированного активными броуновскими янус-частицами в приэлектродном слое при воздействии лазерного излучения;

- обнаружен эффект немонотонного изменения динамических характеристик кластера янус-частиц при монотонном увеличении мощности воздействующего лазерного излучения.

**Теоретическая значимость исследования** обоснована тем, что активное броуновское движение вызывает большой интерес в различных областях физике, биологии, эпидемиологии и других. В то время как пассивные броуновские частицы находятся в тепловом равновесии с окружающей средой, активные броуновские частицы способны поглощать

энергию из окружающей среды и превращать в энергию собственного направленного движения. Таким образом, наблюдаемые системы активных броуновских частиц можно рассматривать как открытые системы, а упорядоченные структуры из таких частиц - как системы, далекие от равновесия. Такие структуры называются диссипативными, если рассеяние энергии, поступающей извне, обеспечивает стационарную упорядоченную структуру с энтропией меньше равновесной. Фундаментальным свойством диссипативных структур является их способность к самоорганизации и эволюции при увеличении потока энтропии в окружающую среду. В результате самоорганизации в таких системах наблюдается формирование более сложных структур. Рассмотренные в диссертационной работе динамика активных броуновских частиц в газоразрядной плазме и процессы самоорганизации имеют большое значение для развития физики эволюции термодинамически открытых систем, установлении принципов самоорганизации и самосборки в таких системах.

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

Результаты экспериментальных исследований, представленных в данной диссертационной работе, могут оказаться полезными широкому кругу специалистов, в том числе занимающихся изучением физических свойств сильнонеидеальных кулоновских систем и разработкой приложений, связанных с их использованием. В частности, для решения актуальных задач, связанных с оптимизацией транспортных процессов в активных средах.

Знания о динамике и способах управления активными броуновскими частицами могут оказаться полезными для контроля потоков вещества в миниатюрных устройствах типа "lab-on-a-chip", прицельной доставки лекарств или микроустройств к больным органам, разрушения вредных веществ в окружающей среде, при разработке каталитических нано- и микромоторов.

Результаты работы могут быть использованы в научных и научно-



образовательных центрах: Национальном исследовательском центре "Курчатовский институт", в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Объединённом институте высоких температур РАН, в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физическом институте им. П.Н. Лебедева РАН, в Федеральном государственном бюджетном учреждении высшего образования Московском энергетическом институте, в Московском физико-техническом институте (национальном исследовательском университете), в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте химической физики РАН, в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте общей физики им. А.М. Прохорова РАН и других научных организациях.

**Оценка достоверности результатов** исследования выявила, что представленные в диссертации результаты экспериментальных исследований с высокой точностью повторяются в экспериментах и согласуются с результатами численных исследований и теоретическими предсказаниями других авторов. Результаты диссертационной работы многократно докладывались на российских и международных конференциях. Стенд для изучения активных броуновских частиц в плазме высокочастотного разряда емкостного типа прошёл успешную проверку в ходе большого числа экспериментальных исследований.

**Личный вклад соискателя** состоит в определяющем участии его в постановке научных задач. Основные результаты, изложенные в диссертационной работе, получены из проведенных автором экспериментов. На основании проведенных исследований и анализа полученных результатов были сформулированы и обоснованы выводы и положения, вошедшие в диссертацию.

Апробация результатов исследования проводилась на 6 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 АркарЧжо согласился с техническими замечаниями, ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию

На заседании от 29.12.2021г. диссертационный совет принял - за решение научной задачи, имеющей значение для развития соответствующей отрасли знаний присудить АркарЧжо ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы.

При проведении тайного голосования Диссертационный совет в количестве 20 человек, из них очно: 10, в том числе докторов наук докторов наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы и 5 докторов наук по специальности 1.3.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника 5, дистанционно: 10 человек, 5 докторов 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 30 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 20 против 0, недействительных бюллетеней - 0.

И.о. заместителя председателя диссертационного совета 24.1.193.01

д.ф.-м.н., профессор

Храпак А.Г.

Ученый секретарь диссертационного совета 24.1.193.01

д.ф.-м.н.

Васильев М.М.

29.12.2021 г.