

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

**СТЕНОГРАММА**

заседания диссертационного совета 24.1.193.01 (Д 002.110.02) на базе  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Объединенного института высоких температур Российской академии наук  
(125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2)  
от 28 декабря 2022 г. (протокол № 37)

Защита диссертации **Кононова Евгения Александровича**  
на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук  
**«Активное броуновское движение сильновзаимодействующих  
заряженных частиц в газоразрядной плазме»**

Специальность 1.3.9 – физика плазмы

Москва – 2022

## СТЕНОГРАММА

заседания диссертационного совета 24.1.193.01 (Д 002.110.02) на базе  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Объединенного института высоких температур Российской академии наук  
(125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2)  
Протокол № 37 от 28 декабря 2022 г.

Диссертационный совет 24.1.193.01 (Д 002.110.02) утвержден Приказом Министерства образования и науки РФ от 26.01.2022 г. № 86/нк в составе 31 человека. На заседании присутствуют 23 человек, из них 9 докторов наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы и 11 докторов наук по специальности 1.3.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника. Дополнительно введены на разовую защиту 0 человек. Кворум имеется.

**Председатель** – зам. председателя диссертационного совета 24.1.193.01  
(Д 002.110.02), д.ф.-м.н., профессор Храпак А.Г.

**Ученый секретарь** – ученый секретарь диссертационного совета 24.1.193.01  
(Д 002.110.02), к.ф.-м.н. Тимофеев А.В.

1	Петров О.Ф.	Академик РАН, д.ф.-м.н., профессор	1.3.9	Присутствует
2	Андреев Н.Е.	Д.ф.-м.н., профессор	1.3.9	Присутствует
3	Храпак А.Г.	Д.ф.-м.н., профессор	1.3.14	Присутствует
4	Тимофеев А.В.	К.ф.-м.н.	1.3.9	Присутствует
5	Агранат М.Б.	Д.ф.-м.н., с.н.с.	1.3.14	Подключен
6	Амиров Р.Х.	Д.ф.-м.н., с.н.с.	1.3.9	Отсутствует
7	Баженова Т.В.	Д.ф.-м.н., профессор	1.3.9	Отсутствует
8	Вараксин А.Ю.	Чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор	1.3.14	Присутствует
9	Васильев М.М.	Д.ф.-м.н.	1.3.9	Присутствует
10	Васильев М.Н.	Д.т.н., профессор	1.3.14	Подключен
11	Василяк Л.М.	Д.ф.-м.н., профессор	1.3.9	Присутствует
12	Воробьев В.С.	Д.ф.-м.н., профессор	1.3.9	Отсутствует
13	Гавриков А.В.	Д.ф.-м.н., доцент	1.3.9	Подключен
14	Голуб В.В.	Д.ф.-м.н., профессор	1.3.14	Присутствует
15	Грязнов В.К.	Д.ф.-м.н.	1.3.14	Подключен
16	Дьячков Л.Г.	Д.ф.-м.н.	1.3.9	Присутствует
17	Еремин А.В.	Д.ф.-м.н., профессор	1.3.14	Присутствует
18	Зейгарник Ю.А.	Д.т.н., с.н.с.	1.3.14	Подключен
19	Зеленер Б.Б.	Д.ф.-м.н.	1.3.9	Отсутствует
20	Иосилевский И.Л.	Д.ф.-м.н., профессор	1.3.9	Подключен
21	Киверин А.Д.	Д.ф.-м.н.	1.3.14	Присутствует
22	Кириллин А.В.	Д.ф.-м.н.	1.3.14	Отсутствует
23	Лагарьков А.Н.	Академик РАН, д.ф.-м.н., профессор	1.3.9	Отсутствует
24	Левашов П.Р.	К.ф.-м.н.	1.3.14	Присутствует
25	Ломоносов И.В.	Чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор	1.3.14	Отсутствует
26	Медин С.А.	Д.т.н., профессор	1.3.14	Подключен
27	Норман Г.Э.	Д.ф.-м.н., профессор	1.3.9	Присутствует
28	Пикуз С.А.	К.ф.-м.н.	1.3.9	Подключен
29	Савватимский А.И.	Д.т.н.	1.3.14	Подключен
30	Филиппов А.В.	Д.ф.-м.н., профессор	1.3.9	Подключен
31	Яньков Г.Г.	Д.т.н., с.н.с.	1.3.14	Отсутствует

## **ПОВЕСТКА ДНЯ**

На повестке дня защита диссертации младшего научного сотрудника лаборатории 17.3 – активных кулоновских систем Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН) **Кононова Евгения Александровича** на тему «Активное броуновское движение сильно взаимодействующих заряженных частиц в газоразрядной плазме». Диссертация представлена впервые на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы. Диссертация выполнена в лаборатории 17.3 – активных кулоновских систем ОИВТ РАН (125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2, веб сайт: [jiht.ru](http://jiht.ru)).

### **Научный руководитель:**

**Петров Олег Федорович** – доктор физико-математических наук, профессор, академик РАН, директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН; Россия, 125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2, веб сайт: [jiht.ru](http://jiht.ru)).

### **Официальные оппоненты:**

**Карасев Виктор Юрьевич** – гражданин РФ, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры Общей Физики I Физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» (СПбГУ; Россия, 199034, Санкт-Петербург, Университетская набережная, д. 7–9, веб сайт: [spbu.ru](http://spbu.ru)).

**Сухинин Геннадий Иванович** – гражданин РФ, 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; Россия, 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, д. 1, веб сайт: [www.itp.nsc.ru](http://www.itp.nsc.ru)).

### **Ведущая организация:**

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук (ИОФ РАН; Россия, 119991, г. Москва,**

ул. Вавилова, д. 38, веб сайт: [www.gpi.ru](http://www.gpi.ru)).

На заседании присутствуют официальный оппонент д.ф.-м.н., доцент Карасев В.Ю. и, научный руководитель Кононова Е.А. д.ф.-м.н., профессор, академик РАН Петров О.Ф. По видеосвязи подключился официальный оппонент д.ф.-м.н., профессор Сухинин Г.И.

## СТЕНОГРАММА

### Председатель

Дорогие коллеги! Начинаем заседание диссертационного совета, и мы сейчас должны заслушать сообщение и диссертацию Кононова Евгения Александровича «Активное броуновское движение сильно взаимодействующих заряженных частиц в газоразрядной плазме». И первым шагом, я думаю, будет предоставление слова Алексею Владимировичу для сообщения данных диссертанта.

### Ученый секретарь

*Информирует членов совета об особенностях работы в смешанном очно-дистанционном формате, зачитывает данные о соискателе по материалам личного дела и сообщает о соответствии представленных документов требованиям ВАК Министерства науки и высшего образования РФ.*

### Председатель

Судя по всему, вопросов пока нет. Сейчас, Евгений Александрович, вам предоставляется возможность изложить основные моменты своей работы, пожалуйста.

### Кононов Евгений Александрович

*Выступает с докладом по диссертационной работе (выступление не стенографируется, доклад Кононова Е.А. прилагается).*

### Председатель

Спасибо, Евгений Александрович. Есть ли вопросы у присутствующих в зале? Пожалуйста.

### Андреев Николай Евгеньевич

У меня чисто семантический вопрос: что вы называете самоорганизацией, когда на первом слайде показали людей в метро?

### Кононов Евгений Александрович

Мы являемся, в общем-то, при упрощенном определении, активными броуновскими частицами. Это уже известно из работ в Nature 2013 года, когда движение акул и рыб определялось как активное броуновское движение. Для анализа движения этих рыб и акул использовались все методики, использованные в моей работе. Соответственно, очереди в метро и их формирование этим тоже описывается.

### Андреев Николай Евгеньевич

Да, я понимаю, что структуры могут быть разными, но где вы увидели структуру в метро? Что за характеристика у этой структуры? Вы это привели как пример самоорганизации, мне это не очень понятно.

### Кононов Евгений Александрович

Люди в метро в любом случае тоже упорядочиваются и держат какое-то расстояние между друг другом. Вы сами можете пронаблюдать на видеозаписях этого. И ведут себя, в общем-то, как активные броуновские частицы.

### Председатель

Есть ли еще вопросы? Пожалуйста.

**Василяк Леонид Михайлович**

Скажите, а у вас были структуры, в которых и те, и другие частицы были смешаны? В ВЧ разряде, либо в тлеющем разряде, где цепочки висят.

**Кононов Евгений Александрович**

Именно смеси частиц модифицированных и без покрытия – таких экспериментов не делалось.

**Василяк Леонид Михайлович**

Это было бы очень интересно. А скажите, пожалуйста, вот в тлеющем разряде, где висят цепочки. Они бывают неподвижные, а внизу, бывает, колеблются. Вы с помощью лазера могли организовать такое нестабильное состояние, переход из стабильного состояния в нестабильное. То есть вы именно видели, как часть структуры...

**Кононов Евгений Александрович**

Да, именно так. Они начинают выходить из своего положения равновесия, начинают колебаться, потом вращаться вокруг оси трубки, как у нас разряд горит. Потом начинают обмениваться положениями, это было, в том числе, показано.

**Василяк Леонид Михайлович**

И изменения немного геометрии самих нитей?

**Кононов Евгений Александрович**

Да, вы можете пронаблюдать (*показывает на слайде*) – да, немного, но поменялась.

**Василяк Леонид Михайлович**

Ну, здесь довольно мелко, поэтому я и спросил. Спасибо.

**Председатель**

Есть ли еще вопросы? Пожалуйста.

**Киверин Алексей Дмитриевич**

Скажите, пожалуйста, вот после того, как воздействие на частицы прекращается, как быстро они приходят в состояние до воздействия? Какое время релаксации характерное?

**Кононов Евгений Александрович**

Проведено было также несколько экспериментов по данному вопросу. И можно сказать по их результатам, что в исходное состояние система уже не вернется, но для релаксации хватит нескольких минут. Это также наблюдается, в диссертации это не отображено, но там всегда делалась последняя точка, когда система выдерживалась некоторое время, потом подсвечивалась и был измерен параметр неидеальности, и, соответственно, он возрастал обратно. Но, если говорить о системах, которые изначально существовали в виде плазменного кристалла – в плазменный кристалл система уже никогда не вернется.

**Левашов Павел Ремирович**

Такой дилетантский вопрос: у вас нагрев лазером, можно каким-нибудь образом объемный нагрев сделать? Например, микроволновым излучением. Или это невозможно сделать?

**Кононов Евгений Александрович**

Микроволновым? Высокочастотный разряд – он уже подразумевает собой колебание поля. К разогреву структуры это не приводит.

**Председатель**

Есть ли еще вопросы? Пожалуйста.

**Киверин Алексей Дмитриевич**

А возможно ли и, может быть, вы это делали, как-то управлять характерными масштабами? То есть, допустим, расстояние между частицами контролировать, именно характерный размер этих вихревых блужданий частиц.

**Кононов Евгений Александрович**

Для контроля расстояния между частицами можно менять параметры разряда. Тогда расстояние между частицами будет меняться, но при этом у вас состояние системы уже будет не то же самое, что и было.

**Киверин Алексей Дмитриевич**

Имеется в виду, что вы же можете тогда посмотреть энергетический спектр: в каких масштабах у вас какая энергия. Как при анализе турбулентности, допустим, это же что-то очень близкое. Вы говорите о самоорганизации, то есть возникновении когерентных структур.

**Кононов Евгений Александрович**

Да, возможно, но такого не делалось.

**Киверин Алексей Дмитриевич**

Ну, это интересно. Хорошо, спасибо.

**Председатель**

Есть ли еще вопросы в зале? Есть? Пожалуйста.

**Голуб Виктор Владимирович**

Да, у меня маленький вопрос: вот у вас на поверхности частиц с медным покрытием образуются очень интересные столбчатые структуры. А вот вообще все образования таких структур – это очень интересно, и, как правило, пытаются, если это возможно, какой-то фрактальный размер их найти. Пытались ли вы оценить фрактальный размер этих структур?

**Кононов Евгений Александрович**

Я могу вам сказать про линейный размер этих структур. То есть, ширина от 20 до 40 нанометров, а высота от 80 до 100 нанометров. Это для столбчатых структур. А для игольчатых – там иглы длины порядка 200 нанометров, а толщина их от 10 до 20.

**Голуб В.В.**

Ну вот соотношение этих размеров у вас было более или менее определенным или каждый раз хаотичное?

**Кононов Евгений Александрович**

Определенное.

**Голуб Виктор Владимирович**

Значит, что это как раз и в ту сторону, наверное.

**Кононов Евгений Александрович**

Да, фрактального анализа не проводилось.

**Голуб Виктор Владимирович**

Спасибо.

**Председатель**

Есть ли еще вопросы в зале? Если нет, то давайте спросим, нет ли вопросов онлайн. Есть желающие задать вопрос? Ну, судя по всему, там тоже нет вопросов, тогда переходим к следующему пункту нашей программы, и слово предоставляется научному руководителю, академику Петрову Олегу Федоровичу.

**Петров Олег Федорович**

Уважаемый Алексей Георгиевич, уважаемые коллеги. Я хотел бы сказать несколько слов о подопечном – Евгении Александровиче Кононове. Он прошел почти характерную для выпускника Физтеха траекторию, то есть окончание Физтеха, аспирантуру и защиту. Я сказал «почти», потому что он выпускник МИФИ, и пришел к нам уже сформировавшимся в этом смысле специалистом, причем в материаловедении. Некоторое время назад у нас с ним состоялся полезный такой обмен мнениями, после чего он поступил в аспирантуру Физтеха и здесь уже стал «мутировать» в хорошем смысле этого слова, потому что по завершении ее он уже превратился в настоящего физтеха, да простят меня выпускники МИФИ. И это время, что он провел в лаборатории, оно как раз совпало с развитием тех представлений о самоорганизации, которые Николай Евгеньевич здесь затронул. Дело в том, что Евгений Александрович занимался и был активно увлечен системами вдали от равновесия. А как оказалось, такими системами могут быть активные броуновские частицы. На этот счет была работа 90-х годов Вижека в PRL опубликована. И Евгений Александрович, по сути дела, оказался первым экспериментатором, который поставил опыты в ВЧ разряде с активными броуновскими частицами. Ему удалось здесь набрать опыт очень непростой и получить ряд интересных результатов. Поэтому он здесь за это время, что касается самоорганизации – личная самоорганизация у него точно произошла. И самоорганизация, следуя книжке замечательной профессора Эбелинга, здесь упомянутого, называется «физикой процессов эволюции». Самоорганизация рассматривается как элементарный акт эволюции, поэтому я здесь все точно излагаю. И Евгений Александрович эволюционировал, и сейчас он подошел уже к тому состоянию, когда он и его квалификация позволяют претендовать на ученую степень кандидата физ.-мат. наук со всеми необходимыми атрибутами. Что касается самоорганизации, то здесь вкладывается понятие скорее динамическое – если у вас есть некий хаос, то выстраивание отдельных элементов, направленное движение, вот это и было в работе Вижека, это уже есть самоорганизация. Вихревое движение – это пример самоорганизации. Завершая, я

хотел сказать, что Евгений Александрович прошел свой необычный путь, но пришел, наконец, к тому моменту, когда он со своими результатами вышел на защиту. Спасибо.

### Председатель

Спасибо, Олег Федорович. А теперь я хотел бы попросить Алексея Владимировича огласить отзыв ИВТАНА (ОИВТ РАН) и отзывы, остальные, которые поступили в ученый совет.

### Ученый секретарь

Дорогие коллеги, рассматриваемая диссертационная работа была выполнена в **Объединенном институте высоких температур (ОИВТ РАН)**. В личном деле есть заключение Объединенного института высоких температур, подписана председателем семинара, заместителем директора (ОИВТ РАН), доктором физ.-мат. наук Михаилом Михайловичем Васильевым и секретарем семинара, кандидатом физ.-мат. наук, старшим научным сотрудником Ксенией Георгиевной Косс. Утверждено зам. Директора (ОИВТ РАН), доктором физ.-мат. наук Андреем Владимировичем Гавриковым. В заключении достаточно подробно описана научная новизна, цель, актуальность, публикации, положения, достоверность результатов и так далее, и дано следующее заключение: рекомендовать к защите на диссертационном совете – на нашем диссертационном совете – на соискание ученой степени кандидата физ.-мат. наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы.

Кроме того, в личном деле есть отзыв **ведущей организации**. Это **Институт общей физики имени А.М. Прохорова Российской академии наук (ИОФ РАН)**. Отзыв составлен главным научным сотрудником, доктором физ.-мат. наук, профессором Александром Михайловичем Игнатовым, зав. Теоретического отдела ИОФ РАН, доктором физ.-мат. наук, профессором Намиком Гусейнага оглы Гусейн-заде, и секретарем Василием Вячеславовичем Стрелковым, доктором физ.-мат. наук. Утверждено Сергеем Владимировичем Гарновым, членом-корреспондентом (РАН), директором института (ИОФ РАН). В отзыве достаточно подробно описывается диссертация, если позволите, я пропущу, так как мы уже заслушали особенности диссертации. Замечаний нет, в заключении отмечается, что диссертация соответствует всем критериям п.3.9 положения о порядке присуждения ученых степеней, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физ.-мат. наук по специальности 1.3.9 физика плазмы.

Кроме того, было получено 4 отзыва на автореферат. Все отзывы положительные. Если позволите, я буду отмечать только замечания. А описания диссертации и о том, что в соответствии с п.3.9 положения и о мнении о том, что Евгений Александрович заслуживает присуждение буду пропускать, так как они совпадают во всех отзывах.

(*Первый отзыв*). Итак, первый отзыв получен из **Белорусско-Российского университета** от доцента кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок», кандидата физ.-мат. наук Ольги Васильевны Обидиной. Отзыв положительный, есть замечания:

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 и 3.7d, которых нет в тексте автореферата. По-видимому, речь идет о рисунках 7с и 7d.



(Второй отзыв). Следующий отзыв получен из **Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения имени А.Г. Мержанова Российской академии наук»** от главного научного сотрудника Лаборатории горения дисперсных систем, доктора химических наук Николая Михайловича Рубцова. Отзыв положительный, с пожеланиями:

1. В первом случае состав малых нанокластеров не исследовали – видимо, пожелание-замечание;
2. Хотя и показано, что источником металлов являются электроды и другие металлические поверхности, подвергающиеся распылению, но не предложено, как можно осаждать на частицы заданный металл.

Отзыв положительный.

(Третий отзыв). Следующий отзыв на автореферат получен из **Института теплофизики имени С.С. Кутателадзе Сибирского отделения РАН** от младшего научного сотрудника Лаборатории разреженных газов, кандидата физ.-мат. наук Михаила Владимировича Сальникова. Отзыв положительный, с замечаниями:

1. Автореферат содержит ряд опечаток и неточностей;
2. 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?

Отзыв положительный.

(Четвертый отзыв). И следующий, четвертый отзыв, получен из **Института космических исследований Российской академии наук** от заведующего Лабораторией плазменно-пылевых процессов в космических объектах, доктора физ.-мат. наук, профессора Сергея Игоревича Попеля. Отзыв положительный, без замечаний.

На этом отзывы закончены.

### **Председатель**

Евгений Александрович, сейчас Вы имеете возможность ответить на немногочисленные замечания.

### **Кононов Евгений Александрович**

Понятно. Я хочу сделать пометку, что в отзыве от ведущей организации присутствуют замечания. Не могли бы вы их (огласить). Их там 6 штук, если не ошибаюсь.

### **Председатель**

Это легко поправимо.

### **Ученый секретарь**

Прошу прощения, Вы правы. Не в стандартном месте, до научной и практической значимости замечания были:

1. В работе впервые проведено детальное исследование явления осаждения атомов электродов и конструктивных элементов на поверхности пылевых частиц в плазме. Получены данные о массовой доле атомов различных материалов в зависимости от времени горения разряда. Получены данные о структуре осажденных атомов на

поверхности пылевой частицы и модификации поверхности пылинок под воздействием плазмы разряда. Но приведенные данные о массовой доле атомов металла на пылинках на основе элементарных оценок позволяют получить значения концентрации атомов и ионов примеси в объеме и сравнить их параметрами рабочего газа. Это было необходимо сделать.

2. В дополнение к предыдущему замечанию. В Табл.2.1 на стр.46 приведено, что массовая доля железа после 30 минут составляет полтора процента, через час – один процент, а через шесть часов – два с половиной процента. Как и почему такое может быть? По меньшей мере следовало бы обратить внимание на такую аномалию. И, если не объяснить, то хоть как-нибудь прокомментировать это. Кроме того, в таблице приведено, что массовая доля серы составляет 0.4% для любого времени экспонирования – на это тоже следовало, наверное, обратить внимание и хоть как-то пояснить.
3. В Табл.2.2 на стр.46 приведено значение массовой доли меди 85% в исходном случае, до обработки, когда медь покрывает десятимикронную пылинку из меламина слоем толщиной всего лишь 0.2 мкм. Это указывает на то, что определяется массовая доля лишь в каком-то приповерхностном слое пылинки. Необходимо было уделить какое-то внимание этому вопросу. Кроме того, значения массовой доли различных примесей во второй строке этой таблицы должны совпадать со значениями в последней строке предыдущей таблицы. Однако для меди они различаются даже в первой значащей цифре. В чем причина?
4. В описании постановки экспериментов в емкостном высокочастотном разряде указано, что давление в экспериментальной камере поддерживалось непрерывной подачей рабочего газа. Очевидно, что в условиях, когда атомы распыленных конструктивных элементов, железо, алюминий и медь, сильно влияют на состав пылевых частиц, подвергшихся обработке, скорость прокачки рабочего объема чистым газом, аргоном, должна оказывать сильное влияние на экспериментальные результаты.
5. В работе показано, что в зависимости от времени экспозиции в пылевой структуре идет модификация поверхности частиц из-за присутствия легко ионизируемой примеси. Какое влияние она оказывает на взаимодействие между частицами в пылевой структуре.
6. По криогенному разряду не указано, была ли прокачка газа и исследовался состав наночастиц, вполне возможно, что они представляют собой кластеры атомов распыленных электродов, поскольку у металлов высокая поляризуемость и конверсия в молекулярные ионы может быть весьма высока.

Все перечисленные замечания носят рекомендательный характер, и, являются, скорее, следствием исключительно высокого интереса к очень оригинальной экспериментальной работе и не снижают общей значимости диссертационной работы. Рекомендована к защите.

### **Председатель**

Евгений Александрович, количество вопросов от ведущей организации говорит о том, что они очень серьезно отнеслись к оппонированию Вашей диссертации. И сейчас предоставляется Вам возможность на эти все вопросы, включая и остальные, которые были, ответить.

### **Кононов Евгений Александрович**

Хорошо, спасибо.

Ответ на **первое замечание** от ведущей организации. О влиянии и оценках значений концентраций атомов и ионов примесей в объеме, и сравнение их с параметрами рабочего газа. Оценка и сопоставление значений вот этих концентраций атомов конечно же возможны. Однако, в моей работе данные о массовых долях металлов на поверхности частиц являются достаточно грубыми и приблизительными вследствие особенностей используемой методики рентгеноспектрального энергодисперсионного анализа. Для данной методики необходима специальная пробоподготовка, которая подразумевает под собой создание плоскости, на которую будет падать анализирующий электронный пучок, который будет вызывать рентгеновское излучение. И при попадании этого пучка электронов он начинает анализировать область, или, точнее, объем, на который он проникает. Этот объем зачастую имеет грушевидную форму. А так как мы не можем в силу малого количества частиц, их размера – в структуре всего лишь пара тысяч частиц, которые летают, и соответственно, которые улавливаются на нашу подложку – и я не могу их залить и, соответственно, специально пробоподготовить. И, таким образом, мы начинаем анализировать сферическую поверхность десятимикронных частиц. И, таким образом, скорее всего анализируется полностью, в общем-то, как минимум, значительная часть их объема, не считая поверхности. Таким образом, мы можем говорить о точном качественном составе частиц, то есть о присутствии тех или иных элементов в их составе, но не о точном количественном их составе. Также известно из работ Смирнова 90-ых годов, что характер осаждения покрытий на полимерные поверхности имеет ряд особенностей. Таких как наличие двух экстремумов по содержанию металлов на поверхности полимеров, что так же будет влиять на оценку количества металлов на поверхности частиц. И, в дальнейшем, на оценку этих самых ионов примесей в объеме газа и параметры этого газа. Таким образом, необходимо проработать модель осаждения металлов на поверхность частиц с учетом приведенных мной аргументов. Точное сопоставление значений концентраций атомов и ионов примесей в объеме является трудоемкой работой, и, соответственно, не решалась в рамках моих работ, но является интересной, и, возможно, будет решаться.

**Второе замечание.** Касательно таблицы 2.1 на странице 46, и состава частиц, и появления серы в ее составе. Металлическое покрытие частиц, в том числе, формируется с помощью параллельных процессов осаждения и эрозии. Невозможно сказать о количественном преобладании того или иного процесса в определенный момент времени. Соответственно, это обуславливает различные концентрации атомов металлов на поверхности. В том числе, перед этим я рассказал, что также на полимеры есть особенности осаждения металлов. Также наличие серы в частицах обусловлены ее применением при низкотемпературной сушке синтезируемых частиц меламина-формальдегида. То есть, вначале они получают в виде какого-то раствора, после чего они сушатся. И, таким образом, сера встраивается в их структуру. И, в дальнейшем, при перенапылении и распылении частиц, в первую очередь распыляется углерод или азот, но не сера. И, таким образом, она все время будет присутствовать в составе и составлять примерно одинаковое количество по массовой доле.

**(Третье замечание).** Вопрос по таблице 2.2. По значениям массовой доли меди 85%. Также вопрос еще по таблице 2.1 по содержанию меди, по различию в первой значащей цифре. Определение массовой доли элемента обусловлена методикой, которую я ранее описывал при ответе на первый вопрос. В моей работе можно говорить о точном качественном составе частиц, но не об их точном количественном составе. То есть, имеется ввиду, по погрешности измерения. В то же время могу сказать, что проводился анализ состава нескольких десятков частиц, и была сделана такая статистическая обработка, которая позволяла получить зависимость количества металла во времени на поверхности частиц.

**(Четвертое замечание).** Следующий вопрос. Про прокачку газом рабочего объема. Соответственно, как при обыкновенных процессах газофазного синтеза металлических покрытий, существует влияние прокачки газа на характеристики покрытия, следовательно, физические свойства частиц. В проводимых экспериментах было специально подобрано такие параметры прокачки газа, которые не оказывали влияния на экспериментальные результаты. То есть, проводилась серия работы и подбирались специальные параметры прокачки.

**(Пятое замечание).** Какое влияние оказывает экспозиция и модификация частиц в пылевой структуре в присутствии легкоионизируемых примесей на взаимодействие частиц в пылевой структуре. Следует разделять эксперименты по модификации частиц, выполняемых при незначительной прокачке буферным газом, и эксперименты с квазидвумерными структурами, выполняемыми при специально подобранными параметрами прокачки плазмообразующего газа. В последнем случае параметры подбирались так, чтобы плазменная среда оставалась неизменной, состояла только из прокачиваемого плазмообразующего газа, а структура при этом никак не искажалась. Потому что существуют такие значения прокачки газа, при которых начинаются искажения структуры из-за потока газа. Также стоит отметить, что в существующих работах Майорова, Рамазанова, где показано, что силы ионной фокусировки играют значительную роль и определяют поведение частиц, в том числе в цепочечных структурах в тлеющем разряде постоянного тока. И, если бы у нас появлялась такая легкоионизируемая примесь, то появление такой примеси изменит, собственно, силы ионной фокусировки.

**(Шестое замечание).** Вопрос по криогенному разряду. Была ли прокачка газа, исследовался ли состав наночастиц? Газовая трубка криостата была подключена к единственному каналу, через который возможна либо подача буферного газа, либо его откачка. В то же время, температуры эксперимента позволяют с уверенностью утверждать, что все сторонние примеси, кроме плазмообразующего газа гелия практически сразу вымораживались либо конденсировались, что мы видим, как результат эксперимента это нанокластеры и формирование и синтез полимерных волокон. Также катод и анод отнесены в боковые ответвления стеклянной трубки. Они не отображены на схеме установки для ее упрощения, потому что она и так достаточно нагруженная и сложная. Что, соответственно, исключает при вымораживании примеси появление металлических примесей в основном канале трубки и то есть в наблюдаемых результатах эксперимента. Также для исследования состава наночастиц необходима наработка их достаточного количества именно отдельных наночастиц. Также нужно разработать методику их сбора в отдельности от всего. Соответственно, это трудоемкий процесс, криогенные эксперименты очень сложные и очень трудозатратные и времязатратные. И, соответственно, это не являлось целью работы, но, возможно, в дальнейшем также будет сделано.

Замечания из отзывов на автореферат. 5 вопросов.

**(Замечания от Николая Михайловича Рубцова).** Не исследован состав нанокластеров. Я на него ответил только что. Показано, что источником металлов являются электроды и другие металлические поверхности. Не предложено, как можно осаждать на частице заданный металл. Данная задача не являлась основной в моей работе, но для осаждения на частицах, левитирующих в объеме плазмы, целевого металла, необходимо сделать распыляемые поверхности из целевого металла, а все остальные поверхности, которые могут контактировать с плазмой, изолировать каким-нибудь сложнораспыляемым диэлектрическим материалом, например, стеклом. Соответственно, также подобрать экспериментально параметры процесса напыления.

*(Замечания от Михаила Владимировича Сальникова).* Автореферат содержит ряд опечаток и неточностей. Я полностью согласен с этим. И со всеми такого же типа замечаниями согласен. Остается непонятным, насколько двумерным является движение частиц в монослое и электростатической ловушке? Как учет дополнительной степени свободы может повлиять на результат? В пределах погрешности – размеров частиц, их движение является двумерным при формировании квазидвумерных структур в плазме высокочастотного разряда. Это можно наблюдать на полученных экспериментальных видеоданных – размер области рассеяния лазерного излучения на частицах не изменялся по ходу эксперимента. Также контроль монослойности пылевой системы осуществлялся с помощью дополнительной камеры, которая ставилась сбоку рабочей установки и была направлена в боковой иллюминатор, через который просматривалась плазменно-пылевая структура, формируемая в объеме плазмы. Учет дополнительной степени свободы движения частиц, конечно же, является темой отдельной работы. Такая работа уже в тлеющем разряде постоянного тока проведена. Находится на рецензии. Соответственно, анализ данных показывает, что в пределах погрешности динамические характеристики, определенные для трехмерного движения, совпадают с характеристиками, определенными для двумерного движения.

*(Замечания от Ольги Васильевны Обидиной).* В подписях к рисункам встречается фраза «мощность лазерного излучения». Необходимо использовать общепринятые термины «интенсивность лазерного излучения» или «мощность лазера». Использование термина «мощность лазерного излучения» является более целесообразным в моей работе чем «мощность лазера» вследствие влияния на частицы именно излучения, и учета его характеристик. То есть, мы использовали газоразрядный аргоновый лазер, у него характеристика измерялась именно мощность выходящего лазерного излучения. Также при проведении экспериментов в тлеющем разряде постоянного тока использовался твердотельный лазер. Но при этом все данные, отображенные в моих статьях и моей диссертационной работе, уже переведены с помощью специальных таблиц и графиков в значения для именно пучка лазерного излучения. И интенсивность лазерного излучения может быть, конечно же, легко рассчитана – мы знаем мощность и геометрию лазерного пучка. Соответственно, площадь лазерного пучка у меня была указана в презентации, соответственно, геометрия пучка указана в (диссертационной) работе и в моих статьях. Все это легко можно было посчитать при желании. На странице 18 автореферата есть ссылки на рисунки 3.7с и 3.7d. Да, действительно, имелись ввиду рисунки 7с и 7d вместо 3.7с и 3.7d. Это опечатка.

На этом, видимо, все.

### **Председатель**

Спасибо, Евгений Александрович.

Теперь я хотел бы предоставить слово официальному оппоненту Карасеву Виктору Юрьевичу из Санкт-Петербурга, Санкт-Петербургский университет.

### **Карасев Виктор Юрьевич**

Уважаемые коллеги, добрый день. Чтобы быть кратким, я, в основном, на формальных аспектах остановлюсь. Конечно, представленная работа актуальна несомненно. Она связана с междисциплинарной областью изучения неравновесных диссипативных систем, способных к самоорганизации. И пылевая плазма, и исследования – они яркий пример этого представляют. Работа представляет собой единый законченный труд экспериментальный, и ряд вещей мне в ней очень понравились. Я кратко их перечислю. Это использование оборудования, интересного и нового, современного. И некоторые методы – это, в частности, динамическая энтропия. И, конечно же, экспериментальные

результаты. Во-первых, при разных, сильно разных (условиях), и крайне низкой температуре сверхтекучего гелия. Исследование как авторское мультимодальной пылевой плазмы, когда пылевая структура находится еще в структуре из наночастиц, и там появляются еще вот эти волокна, и по разному эти волокна крупные отталкивают одну или другую структуру. Конечно, это набор очень интересных экспериментальных результатов, которые, в общем, осмыслить еще стоит впереди.

По работе у меня есть ряд вопросов. Я по порядку начну:

1. Касательно размеров частиц после их обработки в плазме, после нанесения на них металлических покрытий. Какова зависимость размера при различных выдержках частиц в плазме вообще? В принципе, интересно здесь все – и для ненапыленных частиц, и для напыленных частиц? Все, что как бы можно было бы показать, разумно здесь представить.
2. Второй вопрос. Он касается рисунка с корреляционной функцией. Рисунок 2.12 на странице 58. Тут, наверное, я нашел явную ошибку. Потому что структура гексагональная, а корреляционная функция, которая ей соответствует в том масштабе, в котором есть она, не так построена. Потому что второй пик, он должен быть на расстоянии 1.7. И, наверное, там масштаб неправильно нанесен.
3. И третий вопрос. В общем, тут целый ряд вопросов, которые я в личной беседе частично узнал, проявив для себя. Это, в общем, тут проблема такая. Видимо, глава третья несколько в спешке написана, с огромным количеством опечаток, недосказанностей и неоднозначным использованием терминов? Пример – «шахта криостата» или «рабочий канал криостата», это один объект или два разных объекта. Оценка размера собранных частиц, для него используется эффективное значение заряда. Что имелось ввиду – эффективный заряд, требует пояснения. И ряд других вопросов – допустим, ионы 100 эВ с энергией, названы низкоэнергетическими. В общем, для пылевой плазмы это, наверное, не так?

Тем не менее, работа высокого уровня, как я сказал с начала. И по методам, и по эксперименту, мне она очень нравится. И я хочу заключить то, что сделанные замечания не портят позитивной картины всех полученных результатов. Рецензируемая диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует всем критериям, установленным п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней 842 ВАК-а, а ее автор, Кононов Евгений Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физ.-мат. наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы. На этом все.

### **Председатель**

Спасибо, Виктор Юрьевич. А теперь Ваша очередь ответить на вопросы, поставленные оппонентом.

### **Кононов Евгений Александрович**

Спасибо за замечания, перейдем к ответам.

*(Первое замечание).* Изменялся ли размер частиц, какова зависимость размера частиц при различных временах выдержки? К сожалению, данных именно для различных времен выдержки у меня нет. Но размер частиц был измерен в ходе экспериментов. Он изменялся в результате эрозии поверхности частиц. В то же время, стоит отметить, что изменения размера частиц оказалось незначительным по сравнению с исходными частицами, которые никак в плазме не обрабатывались. И составляет несколько десятков нанометров. Соответственно, большее изменение размеров у непокрытых частиц, и немного меньшее у покрытых частиц. При этом были проведены наблюдения, что немного изменилась

структура покрытия: у некоторых частиц без покрытия появлялись крупные неровности на поверхности, а у частиц с покрытием может развиваться мелкодисперсная структура поверхности.

*(Второе замечание).* Касательно рисунка 2.12 на странице 58 диссертации. Действительно, цена деления шкалы масштаба отличается от цены делений сетки на графике. Целью графика было показать явление структурного перехода и пропадание расщепления второго максимума парной корреляционной функции. В связи с чем было выбрано изометрическое изображение, построено. И после этого уже была нанесена масштабная шкала, и, видимо, возникла некоторая неточность в виде несовпадения этой сетки и масштабной шкалы.

*(Третье замечание).* Ряд вопросов по главе 3. Действительно, «шахта криостата» и «рабочий канал криостата» – это один и тот же объект. Эффективное значение заряда носит, конечно же, оценочный характер, который, собственно говоря, все изменяемые величины в себя включает. То есть, у нас, в общем-то, полидисперсный используется диоксид церия, нанокластеры тоже у нас в размерах изменяются, волокна тоже так же у нас разного размера. Соответственно, мы также должны учитывать различные флуктуации, то есть параметры экранировки и взаимодействие заряженных частиц, все это входит в это самое эффективное значение заряда, которое используется просто для оценок. Также, согласно классификации ионов по энергиям, 100 эВ является низкой энергией для ионов в технологических процессах. Собственно говоря, мы руководствовались именно этой классификацией. Но, да, конечно же, для пылевой плазмы такие ионы являются высокоэнергетичными достаточно. По главе 3 замечания, связанные с оформлением. Здесь я согласен, как я уже ранее говорил, со всеми такими замечаниями.

Все, спасибо.

### **Председатель**

Спасибо. Теперь мы должны предоставить слово второму оппоненту, который принимает участие в заседании нашего совета онлайн. Это Геннадий Иванович Сухинин. Геннадий Иванович, сейчас мы Вас подключим и ждем Ваше выступление.

### **Геннадий Иванович Сухинин**

Меня слышно?

### **Председатель**

Мы Вас слышим, да.

### **Геннадий Иванович Сухинин**

И видите?

### **Ученый секретарь**

Не видно. Пока не видно, у Вас камера выключена.

### **Геннадий Иванович Сухинин**

Видно?

### **Ученый секретарь**

Пока не видно.

Теперь видно.

**Геннадий Иванович Сухинин**

Добрый вечер, уважаемые коллеги. Прежде всего, хочу поздравить всех с наступающим новым годом. Пожелать здоровья и успехов творческих.

**Председатель**

Спасибо.

**Геннадий Иванович Сухинин**

Теперь перейдем к диссертации. Диссертация Кононова Евгения Александровича посвящена экспериментальному изучению динамики активных броуновских частиц в пылевой плазме, формирующих упорядоченные структуры в приэлектродной области высокочастотного разряда и в стратах положительного столба тлеющего разряда постоянного тока. Я не буду зачитывать все что я написал. Отмечу только, что работа эта актуальная. Изучение явлений, связанных со структурными переходами в плазменно-пылевых системах активных броуновских частиц — это действительно актуальная задача, которая решается Евгением Александровичем в его диссертации. Которая состоит из трех глав, введения и заключения. Прежде всего, скажу, что в первой главе представлена общая информация об активных броуновских частицах в коллоидных растворах. Обзору же активного броуновского движения в пылевой плазме и явлению фотофореза, приводящего к повышению «кинетической температуры» частиц, посвящен лишь краткий раздел 1.4. Во второй главе представлены результаты экспериментального изучения лазерно-индуцированного активного броуновского движения частиц, модифицированных в плазме ВЧ разряда. И я, пожалуй, не буду после выступления автора и ведущей организации, и оппонента, я не буду перечислять все что было сделано по главам. Только хочу отметить, что в третьей главе приведены результаты исследования динамики активных броуновских частиц в цепочечных структурах в разряде постоянного тока при комнатной температуре. Изучен характер движения частиц с металлическим покрытием в плазменно-пылевых структурах и их активные свойства в широком диапазоне мощности лазерного излучения. Показано наличие структурного перехода «кристалл-жидкость» в плазменно-пылевой структуре модифицированных частиц при воздействии лазерного излучения. Для анализа структурных переходов применялся подход, основанный на расчете динамической энтропии открытой диссипативной системы взаимодействующих частиц. Отмечается, что изменение динамики движения частиц и структурный переход с обменом фрагментами цепочек внутри структуры стали возможны благодаря энергии, поглощаемой частицами из оптического излучения. То есть благодаря активности частиц. Последняя часть третьей главы посвящена экспериментальному рассмотрению плазменно-пылевых структур, возникающих в тлеющем разряде постоянного тока в трубке, охлаждаемой сверхтекучим гелием при температуре 1.6 К. По нашему мнению, этот раздел следовало бы выделить в отдельную главу, демонстрирующую способность автора работать с криогенным разрядом.

К диссертации Кононова Евгения Александровича имеется ряд вопросов и замечаний:

1. Диссертационная работа Кононова связана с изучением активных частиц в пылевой плазме, а литературный обзор в Главе 1 главным образом посвящен активным частицам в коллоидных растворах. Несмотря на общеизвестные аналогии между этими системами, имеются и очевидные различия, и стоило бы увидеть более подробный обзор по исследованиям активных броуновских частиц в пылевой плазме. В данной работе по коллоидным системам, по нашему мнению, достаточно



было бы сослаться на обзор Behringer-а 16-го года, опубликованного в Reviews of modern physics.

2. Второе замечание. В диссертации не приведена формула для фотофоретической силы, играющей центральную роль в рассматриваемых явлениях, не приводится ее оценка и сравнение с другими силами в пылевой плазме. Кроме того, в работе употребляются различные термины: «радиометрическая» сила, «фотофоретическая» и «фотометрическая» силы, в качестве силы воздействия лазерного излучения на пылевые частицы.
3. Третье замечание. Из текста диссертации непонятно, усреднялись ли данные по всему ансамблю пылевых частиц при определении среднеквадратичного отклонения траекторий в зависимости от времени в ВЧ разряде.
4. Четвертое замечание. Как влияет характер реального трехмерного движения пылевых частиц на такие характеристики, как среднеквадратичное отклонение и линейное смещение? Если в монослое пылевых частиц в ВЧ разряде можно говорить о двумерном движении частиц, более-менее, то как происходит движение активных частиц в пылевом облаке в страте разряда постоянного тока?
5. И, наконец, пятое замечание. В работе наблюдается структурный переход «кристалл-жидкость» в квазидвумерной плазменно-пылевой структуре. В то же время, известны работы, например, теория Березинского-Костерлица-Таулеса, описывающая сценарии перехода с появлением промежуточного стационарного состояния – «гексатической фазы». Наблюдалось ли подобные явления в работе диссертанта?

Приведенные замечания не влияют на общую положительную оценку рассматриваемой диссертации. Выполнен большой объем работ, результаты опубликованы в девяти статьях в высокорейтинговых российских и зарубежных журналах. Результаты докладывались более чем на 10 российских и международных конференциях. Исследования в рамках диссертационной работы поддержаны грантом РФФИ, а также стипендией Президента Российской Федерации для молодых ученых. Автореферат и опубликованные работы полностью отражают содержание диссертации, которая соответствует паспорту специальности 1.3.9 – Физика плазмы. Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует всем критериям, установленным п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней (№ 842 от 24.09.2013г.), а ее автор Кононов Евгений Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности физика плазмы, 1.3.9.

Я все, спасибо.

### **Председатель**

Спасибо, Геннадий Иванович. Ответьте, пожалуйста, на замечания Геннадия Ивановича.

### **Кононов Евгений Александрович**

Спасибо за отзыв и замечания. Я сейчас отвечу на них.

*(Первое замечание).* Замечание по первой главе. Исследование активных частиц в жидкофазных коллоидах является направлением, предшествующем исследованием активных частиц в пылевой плазме. Соответственно, описание анализа, результатов и методик необходимо для понимания тематики исследований. Также стоит упомянуть, что направление исследований активного броуновского движения в пылевой плазме является молодым и как раз развивается в течении последних лет, как раз во время которых выполнялась моя работа, которую я сегодня представляю. Также мне известны результаты исследований моих коллег из германского и индийского сообществ, это Nosenko и

Hariprasad из Индии. Но основные работы в сфере пылевой плазмы и активности проводятся в большей степени моим исследовательским коллективом, в котором я состою. Таким, я считаю, образом, что представленный обзор в 1 Главе является достаточно полным и соответствует тематике моей диссертации.

**Второе замечание.** Не приведена формула для фотофоретической силы, также употребляются различные термины. Конечно же, фотофоретическая сила играет определяющую роль наравне с силой тяжести и электростатической силой, отвечающей за левитацию частиц. Соответственно, фотофоретическая сила влияет на движение частиц, вызывая это самое активное движение частиц, которое исследовалось в моей работе. Для работы в этом направлении сделаны некоторые начинания. В диссертации приведены оценки скорости нагрева поверхности частиц при воздействии лазерного излучения, которые можно использовать в дальнейшем для анализа активности пылевых частиц, как предлагает оппонент, Геннадий Иванович. По терминологии, должен отметить, что «фотометрическая сила» является опечаткой, и стоит иметь ввиду в данном случае «фотофоретическую силу». Это встречается один раз, и соответственно тут имеется ввиду «фотофоретическая сила».

**(Третье замечание).** Следующее замечание. Из текста диссертации не понятно, усреднялись ли данные по всему ансамблю, рисунок 2.9. Действительно, для построения графика среднеквадратичного смещения данные усреднялись по всему ансамблю пылевых частиц.

**(Четвертое замечание).** Как влияет характер реального трехмерного движения пылевых частиц на такие характеристики как среднеквадратичное отклонение? Если в монослое пылевых частиц в ВЧ разряде можно говорить о двумерном, то как происходит движение активных частиц в пылевом облаке в страте разряда постоянного тока? На этот вопрос я уже частично отвечал ранее, то есть в пределах погрешности характер реального трехмерного движения пылевых частиц на данные характеристики не влияет, как я говорил. Также, в том числе, в моем докладе было представлено изменение движения по мере изменения мощности воздействующего лазерного излучения, то есть оно меняется от локализованного в небольшой области в результате формирования электростатической ловушки до диффузионного и вращательного вокруг оси разряда для полностью покрытых частиц, и сложного вихреобразного движения в том числе вдоль оси трубки в вертикальной плоскости для частиц с анизотропным покрытием или янус-частиц.

**(Пятое замечание).** Следующее замечание. В работе наблюдался структурный переход «кристалл-жидкость», наблюдалась ли «гексатическая фаза»? Для наблюдения гексатической фазы требуется изотропный монослой частиц, обладающих одинаковыми свойствами, позволяющих прецизионно воздействовать и изотропно разогревать структуру лазерным излучением. В силу неоднородности процессов образования металлического покрытия у частиц, данное требование не выполнялось, что существенно осложняет возможность наблюдения этой фазы для структур модифицированных частиц. Эта задача интересная, трудоемкая, но, к сожалению, не решалась в рамках данной работы. Может быть, «гексатическая фаза» там и существует.

На этом, видимо, все.

### **Председатель**

Спасибо, Евгений Александрович. Я думаю, что сейчас мы можем приступить к дискуссии по диссертации. Кто хочет выступить? Пожалуйста.

**Василяк Леонид Михайлович**

Уважаемые члены ученого совета, мы заслушали очень хорошую диссертационную работу. При этом я бы хотел обратить ваше внимание на объем выполненных исследований, несмотря на краткость изложения. Он очень большой, потому что здесь есть несколько разных объектов. И, во-первых, два типа разряда, ВЧ и тлеющий разряд. Различные объекты, различные эксперименты. И плюс очень тяжелый эксперимент при криогенных температурах, причем не низких температурах, не стандартных при температуре кипения жидкого гелия 4.2 градуса, а ниже, то есть 2 градуса. Это эксперименты очень сложные, требуют очень большого экспериментального умения. И то, что мы сегодня видели, вот этот объем, несомненно, это можно было сделать только в том случае, если сотрудник, это делающий, в данном случае, Евгений Александрович, очень хорошо понимает физический смысл того, что он делает, и что получается, и что как должно быть. Я считаю, что работа очень хорошая, и предлагаю ученому совету проголосовать «за». И с моей точки зрения, сама диссертация, выступление удовлетворяют всем требованиям ВАК.

### **Председатель**

Есть ли еще желающие выступить? Пожалуйста, Михаил Михайлович.

### **Васильев Михаил Михайлович**

Уважаемые коллеги, добрый день. Я хотел сказать несколько слов в поддержку Евгения Александровича. Его работа в лаборатории за последние годы вылилась вот в ту диссертацию, которую мы с вами сегодня заслушали. И, действительно, и фронт работ, и опыт, который здесь Евгений Александрович набрал, он заслуживает всяческих похвал. Евгений Александрович ответственно и вдумчиво работал на поприще экспериментатора, и его квалификация, безусловно, заслуживает искомой степени. Я буду голосовать «за», и прошу вас поддержать его в этом начинании. Спасибо.

### **Председатель**

Есть ли еще желающие? Может быть, кто-то онлайн хочет добавить что-то?

### **Геннадий Иванович Сухинин**

Можно я добавлю? Еще раз.

### **Председатель**

Пожалуйста, Геннадий Иванович.

### **Геннадий Иванович Сухинин**

Знаете, я вот тут сказал, что последняя часть третьей главы, ее стоило бы выделить в отдельную главу, 4. Мне кажется, что она не очень соответствует изучению активного броуновского движения, но она фантастически интересная. И она, с моей точки зрения, является хорошим заделом для будущих работ, и в то же время показывает, что Евгений Александрович вырос уже в экспериментатора, способного работать с любым типом разряда, и, тем более, с криогенным разрядом. Несомненно, он заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук. Все, спасибо.

### **Председатель**

Спасибо, Геннадий Иванович. Больше нет желающих?

Я тоже добавлю пару слов. Мы убедились, что представленная сегодня на нашем совете диссертация очень современна. Она сделана в бурно развивающемся сейчас направлении физики пылевой плазмы с активными частицами. Она в числе очень немногих работ такого рода имеет места. Диссертация выполнена на высоком научном уровне, и мне хочется призвать всех членов ученого совета проголосовать за присуждение Евгению Александровичу искомой степени.

Теперь Вам предоставляется заключительное слово.

#### **Кононов Евгений Александрович**

Спасибо. В первую очередь, я бы хотел выразить свою благодарность своему научному руководителю, Олегу Федоровичу Петрову, за то, что он внес существенный вклад в мое становление как исследователя и ученого. Также я хочу поблагодарить коллег за поддержку и ценные советы по ходу подготовки моей диссертационной работы и к защите. Также я хочу поблагодарить за внимательное изучение (диссертации) оппонентов и ведущую организацию, а также тех, кто прислал отзывы на автореферат моей работы. И также поздравляю всех с наступающим новым годом, спасибо.

#### **Председатель**

Так, Алексей Владимирович, пора уже приступать к голосованию.

#### **Ученый секретарь**

Дорогие коллеги, напоминаю, что у нас заседание проходит в очно-дистанционном режиме. Поэтому голосуем мы на электронной платформе на сайте. Прошу всех членов диссертационного совета войти в свою учетную запись на сайте института и проголосовать. Это можно сделать на своих устройствах, или на компьютере в центре зала.

*(Проводится процедура голосования).*

#### **Председатель**

Так, голосование уже закончилось, и я прошу Алексея Владимировича объявить результаты.

#### **Ученый секретарь**

Дорогие коллеги. На заседании присутствовало 23 члена диссертационного совета, в том числе докторов наук по профилю рассматриваемой диссертации 9, очно присутствовали 13 членов диссертационного совета, в том числе докторов наук по профилю диссертации 6, онлайн присутствовало 10, по профилю 3 присутствовало онлайн. Получено 23 голоса, 23 «за», 0 «против», 0 «недействительных».

#### **Председатель**

Ну, у нас все основания есть поздравить диссертанта с успешной защитой. И мы должны утвердить это решение, кто «за»?

#### **Ученый секретарь**

Кто «за»? *(Протокол счетной комиссии утвержден единогласно).*

#### **Ученый секретарь**

Теперь проект заключения смотрим.

## Председатель

Теперь мы должны утвердить проект заключения с теми поправками, которые сейчас при обсуждении должны возникнуть или не возникнуть. Кто? Пожалуйста.

*(Члены диссертационного совета обсуждают проект заключения).*

Есть ли еще замечания? Если нет, то давайте проголосуем за принятие в том виде, в каком будет.

*(Проект заключения принят единогласно).*

На этом наше заседание закончено. Спасибо всем присутствующим и тем, кто принимал участие по интернету. Всем спасибо и с наступающим новым годом.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.193.01 (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, ijht.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. Мерджанова 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. Dзлиева 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  $\sim 2$  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.

