

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

СТЕНОГРАММА

заседания диссертационного совета 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 27 декабря 2017 г. (протокол № 22)

Защита диссертации **Быстрого Романа Григорьевича**
на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
«Динамика электронов в неидеальной кластерной наноплазме»

Специальность 01.04.08 – физика плазмы

Москва – 2017

СТЕНОГРАММА

заседания диссертационного совета 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 № 22 от 27 декабря 2017 г.

Диссертационный совет Д 002.110.02 утвержден Приказом Министерства образования и науки РФ от 11.04.2012 г. № 105/нк в составе 31 человека. На заседании присутствуют 23 человек, из них 10 докторов наук по специальности 01.04.08 – физика плазмы и 12 докторов наук по специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника. Дополнительно введены на разовую защиту 0 человек. Кворум имеется.

Председатель – зам. председателя диссертационного совета Д 002.110.02
д.ф.-м.н., профессор Андреев Н.Е.

Ученый секретарь – ученый секретарь диссертационного совета Д 002.110.02
к.ф.-м.н. Васильев М.М.

1	Фортов В.Е.	Академик, д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Отсутствует
2	Канель Г.И.	Чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор	01.04.14	Присутствует
3	Андреев Н.Е.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Присутствует
4	Васильев М.М.	К.ф.-м.н.	01.04.08	Присутствует
5	Агранат М.Б.	Д.ф.-м.н., с.н.с.	01.04.14	Присутствует
6	Амиров Р.Х.	Д.ф.-м.н., с.н.с.	01.04.08	Присутствует
7	Баженова Т.В.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Присутствует
8	Вараксин А.Ю.	Чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор	01.04.14	Присутствует
9	Васильев М.Н.	Д.т.н., профессор	01.04.14	Присутствует
10	Василяк Л.М.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Присутствует
11	Воробьев В.С.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Присутствует
12	Голуб В.В.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.14	Присутствует
13	Гордон Е.Б.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Отсутствует
14	Грязнов В.К.	Д.ф.-м.н.	01.04.14	Присутствует
15	Дьячков Л.Г.	Д.ф.-м.н.	01.04.08	Присутствует
16	Зейгарник Ю.А.	Д.т.н., с.н.с.	01.04.14	Присутствует
17	Еремин А.В.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.14	Присутствует
18	Иванов М.Ф.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.14	Отсутствует
19	Иосилевский И.Л.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Присутствует
20	Кириллин А.В.	Д.ф.-м.н.	01.04.14	Присутствует
21	Лагарьков А.Н.	Академик, д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Отсутствует
22	Ломоносов И.В.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.14	Присутствует
23	Медин С.А.	Д.т.н., профессор	01.04.14	Присутствует
24	Норман Г.Э.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Присутствует
25	Петров О.Ф.	Академик. РАН, д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Отсутствует
26	Полежаев Ю.В.	Чл.-корр. РАН, д.т.н., профессор	01.04.14	Отсутствует
27	Савватимский А.И.	Д.т.н.	01.04.14	Отсутствует
28	Сон Э.Е.	Чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Присутствует
29	Старостин А.Н.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Присутствует
30	Храпак А.Г.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.14	Присутствует
31	Якубов И.Т.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Отсутствует

ПОВЕСТКА ДНЯ

На повестке дня защита диссертации сотрудника Лаборатории №1.2.2.3. – суперкомпьютерных технологий в атомистическом моделировании НИЦ – 1 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенный институт высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН) **Быстрого Романа Григорьевича** на тему «**Динамика электронов в неидеальной кластерной наноплазме**». Диссертация впервые представлена на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 – физика плазмы. Диссертация выполнена в Международной лаборатории суперкомпьютерного атомистического моделирования и многомасштабного анализа Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национального исследовательского университета «Высшей школы экономики» и в Лаборатории №1.2.2.3. – суперкомпьютерных технологий в атомистическом моделировании НИЦ – 1 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН)

Научный руководитель:

Морозов Игорь Владимирович – к.ф.-м.н., заведующий отделом № 4.4. – теплофизических данных НИЦ – 4 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенный институт высоких температур Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

Брантов Андрей Владимирович – гражданин РФ, д.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник Сектора лазерно-плазменной физики высоких энергий Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Физического института имени П.Н. Лебедева Российской академии наук» (119333 Физический институт имени П.Н. Лебедева РАН, 119991, ГСП-1, г. Москва, Ленинский проспект, д. 53);

Корнеев Филипп Александрович – гражданин РФ, к.ф.-м.н., доцент Кафедры теоретической ядерной физики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» (115409 г. Москва, Каширское шоссе, дом 31).

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» (603950, г. Нижний Новгород. БОКС - 120, ул. Ульянова, 46.).

На заседании присутствуют официальные оппоненты д.ф.-м.н., старший научный сотрудник Брантов А.В. и к.ф.-м.н. Корнеев Ф.А., научный руководитель Быстрого Р.Г. к.ф.-м.н. Морозов И.В.

СТЕНОГРАММА

Председатель

Добрый день, уважаемые члены совета и все присутствующие. Мы начинаем заключительное заседание нашего диссертационного совета с защиты Быстрого Романа Григорьевича. И Михаил Михайлович нас ознакомит сейчас с необходимыми документами.

Ученый секретарь

(Зачитывает данные о соискателе по материалам личного дела и сообщает о соответствии представленных документов требованиям ВАК Министерства образования и науки РФ).

Председатель

Есть вопросы какие-нибудь? Требуется уточнения? Если нет, тогда переходим к докладу соискателя. Пожалуйста Вам слово.

Быстрый Р.Г.

Выступает с докладом по диссертационной работе (выступление не стенографируется, доклад Быстрого Р.Г. прилагается).

Председатель

Спасибо, Теперь у нас образовалось время что бы задать вопросы? Игорь Львович первый был.

Иосилевский И.Л.

Роман, вопрос по постановке задачи. Вы начали с задачи о том что у вас есть миллиметровой кластер. После этого, макроскопический объект частиц там очень много. Естественно посмотреть на гидродинамическое описание адиабатического разлета электрон-ионной системы. В какой мере применим такой подход? И соответственно второй вопрос. Вы показывали профили электронов и при этом считали модель изотермической. А если у нас присутствует расширение, казалось бы они скорее адиабатические.

Быстрый Р.Г.

Касательно первого вопроса по постановке задачи, проводились и молекулярно-динамические и гидродинамические моделирования разлета различных авторов. Молекулярно-динамически разлет кластеров размером до 1000 частиц проводился Игорем Владимировичем.

Иосилевский И.Л.

Да, не 1000. У Вас 10^{17} или 10^{15} частиц в системе, у Вас же миллиметровый кластер.

Быстрый Р.Г.

Нет, нанометровые кластеры. Но, даже для 10 нанометровых систем существуют сравнения гидродинамики с молекулярной динамикой.

Иосилевский И.Л.

Тысячи частиц, да?

Быстрый Р.Г.

Самые большие кластеры у меня это 100 тысяч частиц в моделировании. А при

сравнении с экспериментом, там, 150 тысяч частиц. То есть никаких миллиметров, но сравнения проводились.

Что касается изотермичности системы мы считаем, что процессоры электронной подсистеме наноплазмы происходят на много быстрее чем в ионной. Соответственно за время существования этой системы, за пару пикосекунд системы расширяется в несколько раз. Характерные времена установления термодинамического равновесия в электронной системе составляют, это очень плотный случай, порядка плазменного периода. Например десятые доли фемтосекунды или несколько фемтосекунд. В любом случае если мы рассматриваем электронную подсистему мы вправе считать, что роль расширения пренебрежимо мала.

Иосилевский И.Л.

А теплообмен?

Быстрый Р.Г.

Внутри электронной подсистемы происходит очень быстрый теплообмен -- это легко оценить и легко проверяется с помощью молекулярной динамики.

Председатель

Там то и температуры нет.

Быстрый Р.Г.

Имеется ввиду средняя кинетическая энергия электронов.

Председатель

Да, пожалуйста следующий вопрос.

Амиров Р.Х.

Мой вопрос в следующем, вы фактически рассматриваете плазму твердотельной плотности, но в моём понятии это почти квантовый объект, как удастся описать такой объект?

Быстрый Р.Г.

Ответ в следующем. Формально самая маленькая температура рассматриваемая в системе один электрон-вольт -- это немножко за границей вырождения. Буквально параметр вырождения оказывается около единицы. Проводилось сравнение в работах И.В. Морозова. Для использованного в работе потенциала сравнивалась молекулярная динамика с квантовыми методами и было получено что по крайней мере такие вещи как сжимаемости и уравнение состояния мало отличаются при заступе на пол порядка где-то на пол порядка можно заступить за границу вырождения и ничего страшного при этом не произойдет. В основном же в работе рассматривались большие температуры.

Амиров Р.Х.

Ещё один вопрос. Когда мы изучаем эмиссию на горячих катодах большую роль играет термофотонная эмиссия, эффект туннелирования электронов сквозь барьер. Вот такого рода эффекты изучались? И еще один вопрос. Какие максимальные плотности тока вы получаете в работе?

Быстрый Р.Г.

По порядку. Что касается туннелирования речь идёт не о невысоком барьере порядка энергии Ферми. Высота барьера за несколько сотен фемтосекунд становится больше 10 кТ. Все эти эффекты считаются пренебрежимо малыми. Рассматривается только термоэлектронная эмиссия.

Председатель

А ток?

Быстрый Р.Г.

Ток может меняться в очень широком диапазоне но он правда огромный. Кило амперные токи вполне возможны. Это же формально некорректное определение, то есть один электрон за десятки фемтосекунд улетел с одного квадратного нанометра, но если вот посчитать наивно, то токи в килоамперы или в десятки килоампер могут быть получены. Это при параметрах которые использовались в оптике, при параметрах, которые используются эксперименте наверное может быть и больше на начальном этапе.

Василяк Л.М.

Каково численное значение плазменной частоты?

Быстрый Р.Г.

Она там равна 9 обратных фемтосекунд.

Василяк Л.М.

А частота соударений определяется кулоновским логарифмом. Я вот прикидываю. Не понятно, что больше. Можно назвать вот эти цифры. Понять чем у нас определяется затухание.

Быстрый Р.Г.

Параметр затухания получается автоматически в результате анализа спектра. Мы не знаем в какой пропорции в эти затухания входят какие эффекты и тут будет дополнительный вопрос организации, в котором будет указано 4 различных источника затухания. Столкновение лишь один из них, и как раз его оценить тяжелее всего потому что неидеальность рассматриваемой плазмы очень высокая. Затухание здесь совокупность всех эффектов.

Василяк Л.М.

Можно всё же назвать цифры?

Быстрый Р.Г.

Они представлены на слайде. Частота 9 обратных фемтосекунд. А затухание 0.2 обратных фемтосекунды.

Василяк Л.М.

Сколько периодов умещается?

Председатель

Ню к омега сколько?

Василяк Л.М.

Пять?

Быстрый Р.Г.

Почему же пять? Пятьдесят. Девять поделить на ноль два, это 45. 50 приблизительно.

Василяк Л.М.

Спасибо.

Председатель

Значит частота столкновений много меньше частоты. Значит неидеальность не так много вносит. Если по простому рассуждать. Да практически идеальный случай. Почему вы утверждаете, что плазма сильно неидеальная?

Быстрый Р.Г.

Так получается при подстановке в формальное определение.

Воробьев В.С.

Какое у Вас приблизительное значение кулоновского логарифма?

Быстрый Р.Г.

Параметр неидеальности равен шести. Кулоновского логарифм формально не определен. Это очень высокая плотность. Ну, да, это в зоне расходимости уже.

Председатель

Я так понимаю сейчас вот столкновения никто даже не оценивал.

Быстрый Р.Г.

Правильно.

Воробьев В.С.

В начале бы сказали, что кто есть четыре этапа. Четвертый этап -- рекомбинация плазмы. Почему вы о нем ничего не сказали?

Быстрый Р.Г.

Я подчеркивал, что интересуюсь процессами в электронной подсистеме и не интересуюсь тем как она возникла. Что касается оптики, то процессы рекомбинации и ионизации слишком медленные что бы в неё что-то вносить. Рассматривался только второй этап. Расширение наноплазмы. Четвертый этап не рассматривался.

Вараксин А.Ю.

Вопрос касающийся пульсации давления. Вы показали пульсации. Есть высокие частоты, есть низкие, значит за этим стоит какая-то физика, какая-то механика этого явления. Вот в ваших выводах есть словосочетание «аномальный спектр». Поясните, казалось бы, когда аномальность может быть обнаружена, что там такое и что вы объяснили с точки зрения физики.

Быстрый Р.Г.

Казалось бы по общепринятой теории флуктуаций флуктуации давления должны быть гауссовы. Если трактовать традиционную теорию так, должен получаться набор независимых гауссовых величины, должен получаться белый шум. Впервые отличие от гауссова шума для этой системы было обнаружено Ильнуром Саитовым. Что было сделано в этой работе. Был сделан анализ этих различий. Была проведена работа по увеличению вычислительной точности и объяснения откуда берётся вычислительная ошибка. Моё здесь это предложения спектра в качестве инструмента анализа, это первое. Второе это анализ вычислительных ошибок и их теоретическое обоснование.

По поводу слайда со спектром флуктуаций давления. Дело в том, что известны классические случаи когда флуктуации отличаются от белого шума, например в окрестностях фазового перехода. Было проверено, что рядом фазового перехода нет. Была проверена зависимость от температуры, плотности и различных не физических параметров моделирования. Оказалось, что это картинка устойчива к изменению не физических параметров моделирования. Во всяком случае часть с альфа равной 1. Часть с альфой равной 5 зависит от выбора потенциала. Положение максимума зависит только от температуры и плотности, но ведет себя не очевидным образом и не может быть проассоциировано с плазменной частотой или тому подобными явлениями.

Оказывается существует работа Рудого и Суханова в УФН в которой подробно разбирается задача флуктуация давления в Гиббсовском ансамбле, наследником которого являются это формула, но оказывается различным со следствием гипотезы Энштейна о том что вероятность флуктуации прямо пропорциональна экспоненте в степени минус изменение энтропии, но никакого парадокса здесь нет это нужно воспринимать как два

уровня рассмотрения. Есть термодинамический уровень рассмотрения. А это уровень рассмотрения который отталкивается от теоретической механики.

Важно отметить, это первый пример когда этот эффект демонстрируется в предельно простой кулоновской системе. Такие результаты уже получали люди занимающимися молекулярной динамикой для биологии, но они это объясняли особенностями биологических систем на этой работы заключается в том что это максимально простой пример демонстрирующий различие между двумя теориями.

Председатель

Хорошо. Еще есть вопросы? Если нет, тогда я задам традиционный вопрос, чем вызван выбор такого потенциала взаимодействия между частицами.

Быстрый Р.Г.

В работе использовался целый набор потенциалов и исследовалась зависимость результатов от их выбора. Egf-потенциал. Традиционно используется для моделирование натриевых нанокластеров. В нём глубина полочки выбиралась на первый потенциал ионизации. Но его форма не так принципиальна.

Председатель

Ну, понятно, если коротко говорить это хорошие потенциалы подобранные специально для этого вещества.

В зале есть Игорь Владимирович, хорошо, тогда предоставляется слово научному руководителю. Напоминаю, говорить следует о человеке, а не о работе.

Морозов И.В.

Глубокоуважаемые коллеги в отличие от многих здесь присутствующих я заканчивал не физтех, а физический факультет МГУ, но в силу ряда обстоятельств преподавание там у меня как-то не сложилось. А вот на физтехе оно сложилось, во многом наверное благодаря тому, что там читал курс Генри Эдгарович, а Игорь Борисович Петров, заведующий кафедры информатики, взял меня на свою кафедру и позволил там читать мне курс по выбору. И вот Роман был одним из слушателей. Фактически это первый слушатель моего курса который попал в мою группу, прошел весь этот цикл защитил сначала дипломную работу поступив после неё в аспирантуру и вот сейчас защищает диссертацию. Я больше склонен к численным методам, ставил Роману вычислительную задачу -- сделать программу на GPU, что-то посчитать, проследить как меняются кластерные свойства. Первая часть диссертации это как раз поставленная мною задача. В последствии Роман для себя понял, что у него есть склонность скорее больше в теоретической работе. Поэтому следующие темы это термоэмиссия и спектр колебаний это задачи которые Роман поставил сам и решил. Конечно многое сделать не удалось, но мне кажется это заслуживает того чтобы быть представленным в качестве положений выносимых на защиту. Поэтому степень самостоятельности Романа очень высокая. И есть статья в которой он является инициатором и единственным автором и надеюсь скоро выйдет еще одна. Прошу совет поддержать эту диссертацию.

Председатель

Спасибо, Игорь Владимирович. Я думаю, что тут вопросов у совета не возникнет. Михаил Михайлович, пожалуйста, отзыв ведущей организации.

Ученый секретарь

Уважаемые коллеги, в качестве **ведущей организации** у Романа **Институт прикладной физики РАН**. Отзыв положительный. В отзыве обсуждается структура диссертации, с Вашего позволения я полностью его зачитывать не буду. Отзыв составлен старшим научным сотрудником **Костиным Василием Александровичем** и подписан

руководителем научного направления «Физика плазмы» ИПФ РАН, зам. председателя семинара Отделения физики плазмы и электроники больших мощностей, д.ф.-м.н., Голубев Сергей Владимирович

В отзыве сформулированы замечания:

1. В параграфе 3.5 при выводе формулы (3.21), связывающей частоту плазменных колебаний и профиль электронной концентрации, автор делает предположение: «Основной длинноволновый режим соответствует движению электронного облака как твердого тела без деформации». Однако это утверждение является верным только для однородного профиля электронной концентрации. В случае неоднородных профилей, которые автор рассматривает в этом параграфе, возникающее при колебаниях электрическое поле также оказывается неоднородным, что приводит к периодической деформации электронного облака во время колебания. Утверждение автора, по всей видимости, можно считать приближённо верным только для профилей, которые близки к однородным, например, для профиля концентрации с широким плато и относительно тонким переходным слоем (слабо размытой границей). Автору следовало обсудить область применимости вышеупомянутого предположения. Также следовало указать, оказывается ли полученная формула применимой для профилей, получающихся в результате проведённого молекулярно-динамического моделирования.

2. В третьей главе приводятся результаты расчётов константы затухания для дипольной моды M_i в зависимости от размера кластера. Рассчитанные значения константы практически не зависят от размера кластера при малых размерах (рис. 3.5), что противоречит известному выражению (3.10) для этой константы. Автор, на наш взгляд, недостаточно убедительно разъясняет в тексте диссертации это несоответствие. Следовало бы более подробно остановиться на роли известных механизмов потерь в неоднородной ограниченной плазме (соударения с границей и резонансное поглощение в области критической плотности) и указать диапазон размеров кластеров, для которых применимы полученные результаты.

Сделанные замечания не снижают высокой оценки выполненных исследований и не ставят под сомнение достоверность и значимость полученных результатов, а также сделанных на их основе выводов.

Также на разосланный автореферат поступили отзывы. **4 отзыва на автореферат, отзывы положительные.** Из четырех полученных отзывов 3 отзыва оформлены согласно правилам ВАК. А четвёртый отзыв получен на английском и не содержит обязательной фразы о соответствии положениям ВАК. Поэтому он будет озвучен сейчас на совете, но не будет внесён в ЕГИС.

1. **Московский физико-технический институт** (государственный университет) (Доктор физико-математических наук, профессор **Крайнов В.П.**) – отзыв положительный, без замечаний;

2. **Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН** (Доктор физико-математических наук, заведующий отделом, **Красюк И.К.**) – отзыв положительный, без замечаний;

3. **Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова** (Доктор физико-математических наук, профессор **Савельев-Трофимов А.Б.**) – отзыв положительный, с замечаниями:

–Из текста автореферата не ясно, учитывает созданная автором модель процесс формирования кластерной наноплазмы под действием внешнего поля или пучка частиц, либо начальное состояние плазмы постулируется. В последнем случае хотелось бы иметь некоторые оценки, обосновывающие начальные условия для расчетов.

–Название диссертации содержит термин “неидеальная плазма”, однако в основном

влияние неидеальности не обсуждается.

–Все подписи к рисункам выполнены на английском языке.

4. **Университет физики Ростока, Германия, Heidi Reinholz** – отзыв положительный, без замечаний;

Председатель

Роман Григорьевич, пожалуйста, ответьте на замечания, которые есть в отзыве ведущей организации и отзывах на автореферат.

Быстрый Р.Г.

Начнем с отзыва ведущей организации.

(Первый вопрос) Позволю себе начать с некоторого разъяснения о чем идет речь. Напомню, что такое колебания Ми. Колебаниями Ми, как показано на этом слайде это простое колебание электронной подсистемы относительно ионной системы как целого. Формула для частоты колебаний представлена на слайде. Обратим внимание, что по форме она такая же как для плазменной частоты с двумя отличиями. Первое, это то, что в формуле стоит не плотность электронов, а плотность ионов. Второе, это деление на 3, отметим что при равной плотности ионов и электронов плазменная частота оказывается в корень из 3 раз больше частоты Ми. В работе была выведена вот такая формула (*показана на слайде*) для зависимости частоты колебаний от электронного профиля и потенциала взаимодействия. При выводе формул рассматривались колебания не идеальных шаров как в случае Ми, а реальных профилей электронной плотности. В принципе формула позволяет подставить произвольную плотность. В замечании организации указывается что это вообще говоря неверно. С этим можно согласиться. Для произвольного профиля как показано на следующем слайде, возможно возникновение резонанса колебаний Ми с плазменной частотой для некоторой плотности на границе кластера. И может оказаться, что колебания Ми и плазменные колебания нельзя рассматривать отдельно друг от друга. В выведенная в моей работе формуле колебания рассматриваются отдельно. В работах профессора Гильденбурга, которые представлено на слайде, показано, что разделить моды можно в приближении резкой границы. Условие для этого показано на слайде. Для приведенных в работе профилей представленное на слайде условие выполняется с большим запасом и поэтому выведенная формула применима для реально наблюдаемых профилей.

(Второй вопрос) заключался в следующем в работе был представлен слайд на котором была указана зависимость коэффициентов затухания от размеров кластера. Как я уже отмечал в докладе, точность проведенных измерений не позволяет отличить полученную зависимость от константы. Но тут важно подчеркнуть, что в замечании сказано, что общеизвестно, что затухание зависит от размера кластера. Но это общеизвестно для оптики холодных металлических кластеров. Там это экспериментальный факт. Но для наноплазмы надежных данных нет. Оказывается, что можно мыслить декремент затухания моды Ми, как совокупность различных источников затухания. (*Формула показана на слайде*) Первое слагаемое отвечает затуханию в однородной плазме. Оно содержит в себе меж частичные столкновения и затухание

Ландау. Второй член соответствует описанному выше резонанс эффекту между модами. Его роль можно оценить по формуле представленной на слайде. И можно утверждать, что в нашем случае он пренебрежимо мал. И последнее слагаемое соответствует столкновению электронов со стенками. Для него нет общеизвестных оценок для константы в формуле представленной на слайде.

Перейдем к отзывам на **автореферат**.

Ответ на замечания Трофимова-Савельева А.Б. начну с третьего замечания.

(Третье замечание). Я не согласен с замечание все подписи к рисункам в автореферате выполнены на русском, но на картинках имеются обозначения на латинице.

(Второе замечание). По большому счёту ни один из-за наших результатов нельзя уверенно отнести к эффектам неидеальности. Возможно, неидеальностью плазмы объясняется малость затухания колебаний при соударении о стенки кластера. Тем не менее в работе при получении результатов было использовано много важных свойств неидеальной плазмы. Они использовались при выводе уравнений и при оценке начальных условий. Именно поэтому словосочетание “неидеальная плазма” вынесено в название работы.

(Первое замечание). К вопросу о параметрах лазера. В моей работе не рассматриваются способ генерации наноплазмы, но так как в эксперименте наиболее популярные способы генерации, это генерация с помощью лазера, в работе слово “лазер” мелькает так часто, что складывается ощущение, что рассматривается только лазерная плазма. Это не так. Возможно стоит добавить, что характерные параметры лазера при которых получается такая плазма составляет от 10^{12} до 10^{14} ватт на сантиметр квадратный.

Председатель

Спасибо, тогда мы переходим к оппонентам. И первый у нас Андрей Владимирович Брантов, пожалуйста.

Брантов А.В.

Я из ФИАНа. Я ознакомился с работой Романа Григорьевича в целом впечатления очень положительные. Он хорошо выступал у нас на семинаре. Ему задавали много вопросов. Перейду сразу к замечаниям:

(Первое замечание) Вопрос совпадает с вопросом из отзыва Трофимова-Савельева. Действительно в работе часто употребляется слово лазер. Такую плазму наверное можно создать только лазером. И не очень понятно каковы параметры плазмы получаются. И это мало описано в диссертации. Понятно, что мы не можем рассматривать очень сильные лазеры, они просто очень сильно нагреют систему, до сотен эВ. И ни о какой молекулярной-динамике тогда не может быть и речи. А слабый лазер просто не создаст плазму.

(Второе замечание). Очень понравилось, что была создана новая программа для моделирования неидеальной плазмы. С помощью использования новых сейчас GPU процессоров. Было показано, что мы имеем ускорение в сто раз но причин этого ускорения описано не было. Хотелось бы что бы это было освещено понятным и для неспециалистов образом.

(Третье замечание). Был показан спектр колебаний. На нем на самом деле видно,

что там не одна частота Ми, а ещё есть вторая частота смещенная в другую сторону. Новый интересный эффект. Но в работе она не изучается и не указаны её декременты затухание. Не дается физического объяснения откуда она взялась.

(Четвёртое замечание) В работе построена прекрасная модель эмиссии из наноплазмы. Было проведено и её сравнение с экспериментом, но детали этого сравнения в работе раскрыты недостаточно подробно. Сказано лишь, что при таких температурах и плотностях достигается согласие. Хотелось бы услышать детальное объяснение как выбирались параметры сравнения.

(Пятое замечание) Совпадает с вопросом, который задавал член совета ранее о спектре флуктуации давления. Получен новый интересный результат, а физика его не ясна.

Заключение.

Отмеченные выше недостатки, носящие, в основном, рекомендательный характер, не влияют на положительную оценку работы в целом. Диссертация Быстро Р. Г. содержит ряд новых и интересных результатов, важных как для прикладных приложений, так и для дальнейших теоретических работ. Особо стоит отметить реализованный алгоритм повышения производительности численного кода, который и позволил провести целый ряд исследований, изложенных в диссертации. Результаты диссертационной работы известны научной общественности в нашей стране и за рубежом, неоднократно докладывались на всероссийских и международных конференциях, опубликованы в четырех реферируемых журналах из списка ВАК.

Диссертация Быстро Романа Григорьевича «Динамика электронов в неидеальной кластерной наноплазме» представляет собой законченную научно-квалификационную работу высокого уровня, которая соответствует всем критериям, установленным п. 9 положения о порядке присуждения ученых степеней № 842 от 24.09.2013 г., предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения искомой ученой степени по специальности 01.04.08 – «Физика плазмы».

Председатель:

Спасибо большое, Андрей Владимирович. Перейдем к ответам.

Быстрый Р.Г.

Ответы на *первый и пятый* вопрос уже звучали ранее.

Перейдем к ответу на **(второй вопрос)**. Откуда берется ускорение, для не специалистов. На это есть три причины. Первая, это соотношения пиковых производительностей у графического ускорителя и центрального процессора. Карта делает банально больше операций с плавающей точкой в единицу времени. Вторая, использованная в работе текстурная память размещена прямо на кристалле, а центральный процессор вынужден обращаться в оперативную память. И третья причина, самая главная, язык программирования позволяет руками контролировать какие именно операции с памятью происходят.

(Третий вопрос). Для холодных металлических кластеров подобное расщепление является экспериментальным фактом. Что касается наноплазмы, то в предыдущих работах И.В. Морозова для малых кластеров был проведён анализ мод колебаний (*представлены на слайде*), здесь видно, что структура второй моды колебаний Ми подобная. Частоты колебаний этой моды представлены в работе. Что касается затуханий, то они не были представлены в работе, потому что они могут быть получены из анализа спектра лишь с значительными ошибками.

(Четвертый вопрос). Согласен с замечанием. О эксперименте действительно стоит рассказать подробнее. На слайде представлена система дифференциальных уравнений модели. Для неё решалась задача Коши. Соответственно нам нужны начальные условия для неё. Плотность и массу ионов можно взять из экспериментальной статьи. Заряд кластера в начале полагается нулевым. Но ещё нам нужны начальная температура, плотность и полное время счета. Полное время оценить просто. Расчёт прекращается когда размер кластера достигает радиуса при котором соседние кластеры начинают перекрываться. Среднюю степень ионизации можно взять из другой экспериментальной работы. Остаётся основной вопрос откуда взять начальную температуру. В работе приводятся средние энергии двух пиков эмиссии приняв одно из них входным данным можно сравнить температуру второго пика в эксперименте и в модели.

Председатель

Спасибо, спасибо большое. Я думаю, что мы можем перейти ко второму отзыву и заслушать Корнеева Филиппа Александровича. Пожалуйста.

Корнеев Ф.А.

Я последний вопросы задаю. Почти все мои вопросы уже были заданы. Прежде чем перейти к вопросам хочу сказать, что диссертация мне очень понравилась. Поражает широта рассмотренных в работе вопросов. Начиная с создания программного комплекса и кончая фундаментальными вопросами. Роман показал, что он может ставить задачи и решать их. Вопросы:

(Первое вопрос) Уже задавался сегодня. Он о параметрах лазера с помощью которого генерируется плазма.

(Второй вопрос). Интересным представляется вопрос о роли кристаллической решетки и дальнего порядка в исследуемых процессах. Влияет ли наличие дальнего порядка на состояние электронов и можно ли полностью переходить к классическим электронам? В этом случае следует ожидать важные отличия в свойствах металлических и жидких к кластеров?

(Третий вопрос). Далее цитата “Полученный в работе коэффициент затухания является совокупностью как частоты столкновений, так и коллективных явлений. Разделение этих эффектов требует дополнительного анализа.” Какой конкретно анализ имеется ввиду?

(Четвёртый вопрос) Дальше. По модели термоэмиссии которую Вы здесь описывали. По крайней мере в тексте диссертации сделан ряд модельных предположений, которые на мой взгляд, могут быть легко устранены. То, что вы делали можно было с небольшими усилиями обобщить. Можно ли было это сделать?

(Пятый вопрос) Последний вопрос по существу это спектр, который Вы показываете. Он очень интересный. Фундаментальные вопросы. Хотелось бы понять фундаментальное объяснения.

Отмеченные выше недостатки, носящие, в основном, рекомендательный характер, не влияют на положительную оценку работы в целом. Диссертация Быстрого Романа Григорьевича «Динамика электронов в неидеальной кластерной наноплазме» представляет собой законченную научно-квалификационную работу высокого уровня, которая соответствует всем критериям, установленным п. 9 положения о порядке присуждения ученых степеней № 842 от 24.09.2013 г., предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения искомой ученой степени по специальности 01.04.08 – «Физика плазмы».

Председатель

Есть ли вопросы? Спасибо. Ответы пожалуйста. На вопросы которые звучали ранее повторять ответы не нужно.

Быстрый Р.Г.

*(Ответы на **первый и пятый** вопрос уже звучали ранее.)*

(Второй вопрос) О роли кристаллической решетки. Это особенность работы генератора наночастиц. Они оказываются довольно холодными. От эксперимента к эксперименту температуры могут быть существенно отрицательными (200 К и 300 К). Это делается дросселированием. Как один из вариантов дросселированием. Естественно образуются конденсированные шарики, которые обладают кристаллической решеткой. При этом примечательно, что натрий будет обладать решеткой, которая не встречается в однородном случае. Маленькие кластеры будут обладать уникальной решеткой. Вопрос о роли решетки и возможных её эффектах, например, которые были перечислены оппонентом, и, например, ускорение, вдоль кристаллографических осей, очень нас интересовали. Поэтому было рассмотрено несколько вариантов, в которых этот кристалл создавался очень близким к идеальному. И система, в которой этот кристалл сильно был разупорядочен, настолько, что было трудно улавливать в нём закономерность. Соответственно, результаты альфа равно 0,3. Альфа – это некоторый параметр, который отвечает за правильность кристалла. Он соответствует ситуации, которую глаз воспринимает, как идеальный кристалл. Это довольно близкая ситуация. Альфа равно 0,7 – это очень разупорядоченная ситуация. Соответственно проводилось усреднение для ансамбля таких систем. Вычислялись все результаты для одной системы и для другой с разными потенциалами. И видно, что чёрная точка и синяя точка – это сравнение двух разных упорядоченностей. Видно, что, по крайней мере, на частоту они не вносят значимых результатов. Моду Ми можно воспринимать как колебания недеформируемой системы. Поэтому здесь такого эффекта нет. Соответственно, если это будет капелька жидкости, то общая картина не изменится.

(Третий вопрос). По поводу коэффициента затухания: Я представляю, о каком механизме идёт речь. Имелся ввиду метод, предложенный в статье Морозова и Нормана, указанный на слайде, где для неидеальной плазмы вычислялся декремент затухания похожим на способ, применённый в моей работе. Далее, неким образом оценивалась столкновительная часть. Удавалось разделить столкновительную и коллективную часть. Имелся ввиду предложенные здесь метод. Но по нашим прикидкам, вычислительных мощностей недостаточно, чтобы повторить такое для наноплазмы. По крайней мере на данном этапе.

И соответственно по поводу **(Четвёртый пункт)**. Многие предположения, в которых выведена модель эмиссии, обязательны. Но действительно не обязательны. И я верю, что область применимости модели сильно больше, чем указано в работе. Но, во-первых, я не согласен с тем, что это легко можно расширить. Это всё-таки должна быть проделана работа. И второе, я во многом ориентировался на эксперимент, про который можно говорить лишь качественно. И умышленно оставлял лишь основную идею, чтобы продемонстрировать качественные эффекты. Допустим, можно отказаться от условия,

чтобы радиус Дебая был меньше радиуса кластера. Тогда появятся некие поправочные коэффициенты, в случае, когда это не так, перед экспонентой. Их можно посчитать, но они немного затрудняют восприятие основного результата.

Председатель

Спасибо, Роман Григорьевич. Похоже Вы сказали всё, что хотели. Тогда мы переходим к заключительной дискуссии. Пожалуйста, кто хотел бы высказаться?

Норман Г.Э.

Роман работает в Институте Высоких Температур. У него начальник Стегайлов. И в Высшей школе экономики, где я начальник. Поэтому я выступаю от нашего с В.В. Стегайловым имени. Который сейчас находится на очень важном совещании. Он меня уполномочил полностью поддержать работу. У нас созвучные мнение. И у Романа очень хорошая личность и работа. Я прошу обратить внимание своих соседей на работу Филиппа Александровича. Его работа перекрывается с темой диссертации. Это тот частный Случай, когда оппонент очень хорошо разбирается в теме. Он может так копнуть, что иной диссертант не ответит, а этот ответил. Мне понравилось, как он отвечал. По моему оппоненту тоже понравилось. Большая благодарность обоим оппонентам, что вы согласились работать. В целом, я готов поддержать работу.

Председатель

Владимир Сергеевич, пожалуйста.

Воробьев В.С.

Я бы хотел сказать по научной части. Обычно классификация плазмы делится на столкновительную и бесстолкновительную. Каким образом это делается: берётся частота столкновений электронных импульсов и приравнивается с частотой. Если записать это через параметр взаимодействия, получается (это в работе Нормана и Морозова) гамма в степени три вторых на кулоновский логарифм - должно быть много меньше единицы. Получается так, что область бесстолкновительной плазмы Очень разрежена, но когда плотность повышается, при некоторых гама кулоновских логарифмов Очень большой. Здесь есть область идеальный столкновительной плазмы. Этот же критерий применим к ультрахолодной плазме. Я хотел обратить внимание на работу этой группы диссертанта и на работу предыдущих коллег. Многие результаты, которые получены, можно перевести в ультрахолодную плазму. Там появляется большое число Экспериментов, которых можно предсказать некоторые эффекты. Эти обстоятельства расширяют границы применимости. Работа хорошая.

Председатель

Мне представляется вопрос достаточно ясным. Если никто не хочет больше ничего сказать, тогда слушаем заключительные слова.

Быстрый Р.Г.

В первую очередь я бы хотел поблагодарить всех людей, которые мне помогали, чтобы я оказался сегодня здесь и предоставил диссертацию к защите. Конечно, в первую

очередь хочу поблагодарить своего научного руководителя, Игоря Владимировича Морозова. Мы с ним сотрудничаем очень много лет. Начали работать вместе с моего второго курса, то есть уже восемь лет. Он вложил в меня колоссальное число сил, особенно в первые годы. Я хочу поблагодарить огромное число людей: Г.Э. Нормана, Стегайлова ... А также я благодарю оппонентов за их проделанную работу и интересные замечания. Хочу поблагодарить совет. Хочу особо подчеркнуть интересные вопросы от организаторов. Спасибо большое.

Председатель

Спасибо, и мы должны теперь перейти к голосованию. Для этого выбрать счетную комиссию. Тут есть предложение такое. Три члена счетной комиссии: Дьячков Лев Гаврилович, Вараксин Алексей Юрьевич и Голуб Виктор Владимирович. Нет возражений? Если нет, то мы должны проголосовать. Кто за? Прошу голосовать. Возражения? Нет? *(Счётная комиссия выбирается единогласно)*. Тогда прошу счётную комиссию приступить, а всех членов диссертационного совета проголосовать. *(Проводится процедура тайного голосования)*.

Председатель

Уважаемые члены Совета! Давайте послушаем результаты.

Голуб В.В.

Уважаемые члены Совета! Позвольте огласить протокол заседания комиссии. Состав диссертационного совета утвержден в количестве **31** человека. Дополнительно введены члены совета – **нет**. Присутствовало на заседании **23** членов совета, в том числе, докторов наук по профилю рассматриваемой специальности – **10**. Роздано бюллетеней – **23**, осталось не роздано – **8**, оказалось в урне бюллетеней – **23**.

Результаты голосования по вопросу о присуждении ученой степени кандидата физико-математических наук Князеву Дмитрию Владимировичу:

за – 23, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель

Спасибо. Мы должны утвердить, а потом похлопать. Кто за? Против нет? Воздержавшихся нет? *(Протокол счетной комиссии утвержден единогласно)*.

Спасибо большое, поздравляем.

Переходим к обсуждению проекта заключения. Есть замечания, пожелания? *(Члены диссертационного совета обсуждают проект заключения)*. Если больше нет желающих обсуждать проект, тогда мы должны его проголосовать с теми замечаниями, которые были высказаны. Кто за заключение с замечаниями, которые были указаны? Кто против? Нет. Кто воздержался? Нет. Спасибо, принято единогласно. *(Проект заключения принят единогласно)*.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.110.02 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 27.12.2017 протокол № 22

О присуждении Быстрому Роману Григорьевичу, гражданину Украины, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Динамика электронов в неидеальной кластерной наноплазме» в виде рукописи по специальности 01.04.08 – Физика плазмы, принята к защите 23.10.2017г., протокол № 17, диссертационным советом 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, iht.ru, (495) 485-8345), утвержденного Приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 11.04.2012г. № 105/нк.

Соискатель Быстрый Роман Григорьевич 1990 года рождения, в 2013 году окончил магистратуру Федерального государственного автономного бюджетного учреждения высшего профессионального образования Московский физико-технический институт (государственный университет).

В 2016 году он окончил очную аспирантуру Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики».

Диссертация выполнена в Международной лаборатории суперкомпьютерного атомистического моделирования и многомасштабного анализа Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национального исследовательского университета «Высшей школы экономики» и в Лаборатории №1.2.2.3. – суперкомпьютерных технологий в атомистическом моделировании НИЦ – 1 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН). В настоящее время Быстрый Р.Г. работает в Лаборатории №1.2.2.3. – суперкомпьютерных технологий в атомистическом моделировании НИЦ – 1 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенный институт высоких температур Российской академии наук в должности инженера.

Научный руководитель – Морозов Игорь Владимирович, к.ф.-м.н., заведующий отделом № 4.4. – теплофизических данных НИЦ – 4 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенный институт высоких температур Российской академии наук.

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук, Брантов Андрей Владимирович, ведущий научный сотрудник Сектора лазерно-плазменной физики высоких энергий Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Физического института имени П.Н. Лебедева Российской академии наук»; кандидат физико-математических наук, Корнеев Филипп Александрович, доцент Кафедры теоретической ядерной физики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ.
дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Институт прикладной физики РАН», г. Нижний Новгород, в своем положительном заключении, составленном старшим

научным сотрудником отдела физики плазмы ИПФ РАН, кандидатом физико-математических наук Костиным В.А. (утвержденном учёным секретарем ИПФ РАН, кандидатом физико-математических наук Корюкиным И.В.), указала, что диссертация Быстрого Р.Г. представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу на актуальную тему, и содержит новые важные результаты, которые могут применяться для решения различных теоретических и прикладных задач физики плазмы; результаты представляются достоверными и научно обоснованными, обладают научной новизной, теоретической и практической значимостью. Результаты диссертационного исследования Быстрого Р. Г. могут быть рекомендованы для использования в Институте Общей Физики им. А.М. Прохорова РАН, Физическом институте им. П.Н. Лебедева РАН, Объединённом институте высоких температур РАН, Институте прикладной физики РАН, на физических факультетах институтов МГУ, СПбГУ, ТРИНИТИ, МФТИ и др.

Работа Быстрого Р.Г. отвечает требованиям, предъявляемым пунктом 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней №842 от 24.09.2013 г.

Соискатель имеет 4 статьи в реферируемых журналах (4 из них в журналах из списка ВАК), более 16 тезисов в сборниках трудов конференций:

Основные работы:

1. Bystryi R. G., Morozov I. V. Electronic oscillations in ionized sodium nanoclusters // Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics. 2015. Vol. 48, no. 1. P. 015401.
2. Morozov I. V., Kazennov A. M., Bystryi R. G., Norman G E., Pisarev V.V., Stegailov V.V. Molecular dynamics simulations of the relaxation processes in the condensed matter on GPUs // Computer Physics Communications. 2011. Vol. 182. P. 1974–1978.
3. Быстрый Р.Г., Лавриненко Я.С., Ланкин А.В., Морозов И.В., Норман Г.Э., Сайтов И.М. Флуктуации давления в неидеальной невырожденной плазме // Теплофизика высоких температур. 2014. Том. 52, №.4. С.475-482.
4. Bystryi, R.G., Molecular dynamic study of pressure fluctuations spectrum in plasma // Journal of Physics: Conference Series. 2015. Vol. 653, no. 1, P. 012154.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы из следующих организаций:

1. Московский физико-технический институт (государственный университет) (Доктор физико-математических наук, профессор Крайнов В.П.) – отзыв положительный, без замечаний;

2. Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН (Доктор физико-математических наук, заведующий отделом, Красюк И.К.) – отзыв положительный, без замечаний;

3. Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (Доктор физико-математических наук, профессор Савельев-Трофимов А.Б.) – отзыв положительный, с замечаниями: «Из текста автореферата не ясно, учитывает созданная автором модель процесс формирования кластерной наноплазмы под действием внешнего поля или пучка частиц, либо начальное состояние плазмы постулируется. В последнем случае хотелось бы иметь некоторые оценки, обосновывающие начальные условия для расчетов.

Название диссертации содержит термин “неидеальная плазма”, однако в основном влияние неидеальности не обсуждается.

Все подписи к рисункам выполнены на английском языке.»

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что:

– д.ф.-м.н., Брантов А.В. является ведущим ученым в области взаимодействия лазера с плазмой и сильно неоднородными мишенями, признанным специалистом в области моделирования переноса электронов в таких средах. Основные работы Брантова А.В. по теме диссертации:

1. Ivanov K.A., Shulyapov S.A., Turinge A.A., Brantov A.V., Uryupina D.S., Volkov R.V., Rusakov A.V., Djilkibaev R.M., Nedorezov V.G., Bychenkov V.Y., Savell'ev A.B., 2013.

- X-Ray Diagnostics of Ultrashort Laser-Driven Plasma: Experiment and Simulations. Contributions to Plasma Physics, 53(2), pp.116-121.
2. Brantov A.V., Bychenkov V.Y., Rozmus W., 2012. Electrostatic Response of a Two-Component Plasma with Coulomb Collisions. Physical review letters, 108(20), p.205001.
 3. Брантов А.В., Лобок М.Г., Быченков В.Ю., 2016. Оптимизация мишеней по выходу рентгеновского излучения заданной жесткости под действием фемтосекундного лазерного импульса. Квантовая электроника, 46(4), pp.342-346.
- к.ф.-м.н. Корнеев Ф.А. является признанным специалистом в области взаимодействия лазера с наномишенями. Корнеев Ф.А. защитил диссертацию на тему “Бесстолкновительное поглощение энергии интенсивного лазерного излучения в классической наноразмерной плазме”, которая тесно связана с темой диссертации соискателя. По сути в работе соискателя и оппонента рассматриваются разные этапы одного и того же процесса. Корнеев Ф.А. – представитель международного коллектива авторов, выпустившего десятки работ по физике наноплазмы, в частности:
1. Korneev P., 2012. Harmonics generation in ultra-thin nanofilms irradiated by intense nonrelativistic laser pulses. Laser Physics, 22(1), pp.184-194.
 2. Pisarczyk T., Gus' kov S.Y., Chodukowski T., Dudzak, R., Korneev P., Demchenko N.N., Kalinowska Z., Dostal J., Zaras-Szydłowska A., Borodziuk S. Juha L., 2017. Kinetic magnetization by fast electrons in laser-produced plasmas at sub-relativistic intensities. Physics of Plasmas, 24(10), p.102711.
 3. Bochkarev S.G., d'Humières E., Korneev P., Bychenkov V.Y. Tikhonchuk V., 2015. The role of electron heating in electromagnetic collisionless shock formation. High Energy Density Physics, 17, pp.175-182.

Выбор Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Институт прикладной физики РАН», (г. Нижний Новгород) в качестве ведущей организации обусловлен тем, что «ИПФ РАН» является одной из лидирующих организацией в физике плазмы, проводящей обширные исследования, в особенности, в области взаимодействия излучения с веществом. В в отделе Физики плазмы ИПФ РАН активно ведутся работы по исследованию взаимодействия излучения и потоков заряженных частиц с наномишенями, что близко к тематике диссертационного исследования соискателя.

1. Gildenburg V.B., Kostin V.A. and Pavlichenko I.A., 2016. Excitation of surface and volume plasmons in a metal nanosphere by fast electrons. Physics of Plasmas, 23(3), p.032120.
2. Каймак В., Пухов А.М., Шляпцев В.Н. Рокка Д.Д., 2016. Сильная ионизация в углеродных нанопроволоках. Квантовая электроника, 46(4), pp.327-331.
3. Gildenburg V.B. and Pavlichenko I.A., 2016. Volume nanograting formation in laser-silica interaction as a result of the 1D plasma-resonance ionization instability. Physics of Plasmas, 23(8), p.084502.

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

Получены спектры электронных колебаний в кластерной наноплазме натрия, для неё рассчитаны частоты и декременты затухания основных мод колебаний в зависимости от размера кластера, средней плотности и температуры электронов. Рассчитано равновесное пространственное распределение электронной плотности в кластерной наноплазме. Получена теоретическая модель, объясняющая сдвиг частоты колебаний Ми в красную область спектра вследствие пространственной неоднородности плотности электронов.

Выведена система дифференциальных уравнений, описывающих эмиссию электронов из наноплазмы. Выведена приближенная формула, описывающая изменение температуры электронов в результате эмиссии в зависимости от размера кластера и начальной температуры электронов. С их помощью рассчитана зависимость скорости релаксации температуры электронов в кластере от начальной температуры и размера

кластера. Как следствие полученной системы дифференциальных уравнений, дано качественное объяснение аномального спектра экспериментально наблюдаемой эмиссии электронов.

Проведен теоретический анализ спектра флуктуаций давления в модели равновесной неидеальной плазме, получаемого в молекулярно-динамических расчетах. Дано объяснение роста вычислительных ошибок с ростом размера системы на основании особенностей её физических свойств.

Представлен алгоритм молекулярно-динамического моделирования неидеальной электрон-ионной плазмы, адаптированный для выполнения на графических ускорителях. Приведены величины ускорения расчетов на графических ускорителях по сравнению с универсальными процессорами в зависимости от числа частиц в системе.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что: диссертационная работа Быстрого Р. Г. представляет собой цельное, обладающее новизной исследование в области физики кластерной наноплазмы. Благодаря выбранным техническим решениям впервые с помощью метода молекулярной динамики, основывающегося на первых принципах, были исследованы плазменные наноструктуры, содержащие сотни тысяч частиц. Получена новая формула для частоты электронных колебаний в нанокластере с неоднородным профилем электронной концентрации. Построена модель термоэмиссии из наноразмерной плазмы. Теоретическая значимость полученных результатов не вызывает сомнений, бесспорно, они привлекут внимание специалистов в данной области.

Значение полученных соискателем результатов **исследования для практики подтверждается** тем, что: диссертация развивает теоретические представления об оптических и эмиссионных свойствах наноплазмы. В частности, в работе предложена принципиально новая модель эмиссии с поверхности наноплазмы, и на ее основе дана новая трактовка известных экспериментальных данных. Полученные в диссертации результаты могут способствовать созданию новых методов генерации потоков заряженных частиц и мягкого рентгеновского излучения. Полученный в работе комплекс программ для моделирования неидеальной плазмы может быть применен для широкого круга задач физики плазмы.

Результаты диссертационного исследования Быстрого Р.Г. могут быть рекомендованы для использования в Институте Общей Физики им. А.М. Прохорова РАН, Физическом институте им. П.Н. Лебедева РАН, Объединенном институте высоких температур РАН, Институте прикладной физики РАН, Московском Государственном Университете, Санкт-Петербургский государственный университет, Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований, Московский физико-технический институт и др.

Достоверность полученных результатов и **научная обоснованность** положений, рекомендаций и выводов диссертации обеспечивается физической аргументированностью и математической корректностью проводимых выкладок, обоснованностью принятых допущений и приближений. О **достоверности** результатов также свидетельствует хорошее согласие с результатами выполненных ранее экспериментов. Полученные в компьютерном моделировании результаты хорошо объясняются предложенными аналитическими зависимостями и не противоречат полученным ранее результатам других авторов. В предельных случаях достигаются хорошо известные теоретические зависимости.

Личный вклад соискателя. Содержание диссертации и основные положения, выносимые на защиту, отражают персональный вклад автора в опубликованные работы. Подготовка к публикации полученных результатов проводилась совместно с соавторами, причем вклад диссертанта был определяющим. Все представленные в диссертации результаты получены лично автором.

Диссертационным советом сделан вывод о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, соответствует критериям пункта 9,

установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней № 842 от 24.09.2013г.

На заседании от 27.12.2017г. диссертационный совет принял решение присудить Быстрому Р.Г. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 31 человек, из них 10 докторов наук по специальности 01.04.08 – физика плазмы и 12 докторов наук по специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника, участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 23, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Зам. председателя диссертационного совета Д 002.110.02

д.ф.-м.н., профессор

Андреев Н.Е.

Ученый секретарь диссертационного совета Д 002.110.02

к.ф.-м.н.

Васильев М.М.

