

В диссертационный совет Д 002.110.02
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Объединенный институт высоких температур РАН,
125412, г. Москва, ул. Ижорская, д.13, стр.2

ОТЗЫВ

официального оппонента Брантова Андрея Владимировича
на диссертационную работу Быстрого Романа Григорьевича
«Динамика электронов в неидеальной кластерной наноплазме»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.08 – «Физика плазмы»

В последнее время для улучшения свойств лазерно-плазменных источников заряженных частиц и вторичного излучения широко используются современные наноматериалы, обеспечивающие эффективное поглощение лазерной энергии. При этом, могут возникать плотные сгустки плазмы малого размера, так называемая, наноплазма, не описываемая классической кинетической теорией плазмы. Главной особенностью возникающей системы заряженных частиц является превалирование кулоновских взаимодействий над тепловым движением самих частиц, что обуславливает необходимость расчета движения частиц в дальнодействующем кулоновском потенциале, например, методом молекулярной динамики (МД). Это требует больших численных ресурсов и значительно затрудняет описание подобных систем. Именно, изучению наноплазмы с использованием методов молекулярной динамики и посвящена данная диссертационная работа. Поэтому **актуальность** избранной диссертантом темы не вызывает сомнений.

Диссертация состоит из введения, обзора литературы, четырех глав, заключения и библиографии. Общий объем диссертации составляет 103 страницы, из них 85 страниц текста, включая 20 рисунков. Библиография включает 106 наименований.

Во введении показана актуальность диссертационной работы, отмечены особенности исследуемого объекта, аргументирован выбор целей и методов их достижения, сформулированы цели и задачи диссертационной работы, показана научная новизна и практическая значимость полученных результатов. Представлены выносимые на защиту научные положения.

В первой главе содержится краткий обзор основных работ, использованных в диссертации, а также, опираясь на них, дается краткое введение в физику рассматриваемых явлений, приводятся основные определения и базовые теоретические сведения, в частности, определяется понятие наноплазмы. Литературный обзор содержит введение в метод молекулярной динамики (МД) и методы анализа результатов компьютерного моделирования.

Вторая глава посвящена созданию программного комплекса для МД моделирования неидеальной плазмы. Обоснован выбор ряда технических решений, например, использования графических ускорителей. На тестовых примерах показано соответствие разработанной программы требованиям используемой математической модели в части производительности и точности.

Третья глава посвящена исследованию оптических свойств нанокластеров. В ней приведена постановка задачи, подробно описаны примененные методы моделирования и представлены результаты для частот и затуханий основных колебательных мод кластера в зависимости от размера и начальной температуры кластера, а также потенциала взаимодействия. Далее следует вывод формулы для частоты колебаний электронной подсистемы для различной формы электронного профиля и сравнение ее с МД результатами. Объясняется полученный в численном моделировании сдвиг частоты основной моды от теоретического значения частоты M_i , возникающий из-за пространственной неоднородности плотности электронов.

Четвертая глава посвящена исследованию термоэлектронной эмиссии из наноплазмы. В ее начале представлен вывод системы дифференциальных уравнений, описывающих величину тока эмиссии и уносимую им энергию. Далее полученная модель сравнивается с результатами компьютерного моделирования других авторов. В следующем подразделе выводится упрощенная формула, являющаяся следствием из предложенной модели, которая связывает начальную и конечную температуру в системе, приводится ее сравнение с результатами МД расчетов. В последнем подразделе представлено сравнение результатов модели с экспериментом и обсуждение полученных результатов.

В пятой главе обсуждаются флуктуации давления в неидеальной плазме. Основное внимание уделено точности и различным особенностям исследования флуктуаций давления в неидеальной плазме. Вторая половина главы содержит полученные на основе МД моделирования спектры колебаний.

В заключении перечислены основные результаты, приведены выводы.

Степень обоснованности научных положений, рекомендаций и выводов, полученных соискателем – достаточная.

Достоверность полученных теоретических результатов подтверждается хорошим согласием с данными компьютерного моделирования и экспериментами, известными ранее. 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. **Новизна полученных результатов** не вызывает сомнений, цитирование работа других авторов проведено корректно и достаточно полно.

Материалы диссертации опубликованы в 22-х печатных работах, из них 4 статьи в рецензируемых журналах из списка ВАК, индексируемых базой Web of Science, 2 статьи в сборниках трудов конференций и 16 тезисов докладов.

Практическая значимость работы состоит в развитии теоретических представлений об оптических и эмиссионных свойствах наноплазмы, что может способствовать созданию новых энергоэкономичных и относительно недорогих методов генерации потоков заряженных частиц и/или рентгеновского излучения.

Теоретическая значимость работы состоит в получении новых сведений о наноплазме, обладающей рядом уникальных свойств. В работе предложена принципиально новая модель эмиссии с поверхности наноплазмы, и на ее основании дана новая трактовка известных экспериментальных данных.

Проведенная работа, судя по автореферату и тексту диссертации, является **завершенным** исследованием. Автореферат отражает содержание диссертации и дает полное представление о ней. Диссертация представляет специально подготовленную рукопись, содержит совокупность новых научных результатов, имеет внутреннее единство.

Достоинства и недостатки в оформлении и содержании диссертации

Оформление диссертации отвечает требованиям ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации. Все результаты получены автором лично или при его определяющем участии (п.10 «Положения»).

По тексту автореферата и диссертации имеются следующие замечания:

1. Диссертационная работа посвящена изучению наноплазмы, создаваемой, как правило, с помощью лазерного излучения. Поскольку, воздействие самого

лазерного импульса не описывается в работе, было бы полезно провести оценки для каких лазерных импульсов (по сравнению с параметрами создаваемой наноплазмы) рассматриваемая теория применима.

2. При описании программной реализации метода расчета хотелось бы более подробного анализа и пояснений, понятных и для не специалистов, и объясняющих, за счет чего удалось значительно поднять производительность расчетов.
3. В третьей главе описывается спектр колебаний нано-кластеров. Обнаружено, что для малых размеров кластера имеется две близких частоты колебаний электронной подсистемы как целой, переходящих в классическую частоту Mi при увеличении размера кластера. Такое наблюдаемое расщепление никак не объясняется с физической точки зрения. В частности, не обсуждается затухание второго пика в спектре колебаний.
4. В главе 4 приводится сравнение представленной модели улетающих из нано-кластеров электронов с экспериментальными результатами, путем сравнения температуры улетевших электронов. На мой взгляд, подобное сравнение недостаточно подробно описано в диссертации, хотя именно соответствие экспериментальным данным является важнейшим критерием достоверности модели. Автор ограничивается только приведением вычисленных с помощью представленной модели конечных температур, совпадающих с экспериментально измеренными, опуская детали вычислений. Из текста неясно, какие параметры подбирались для достижения согласия с экспериментом. В частности, было бы полезно привести зависимость температуры улетающих электронов от размера кластера и от его начальной температуры для конкретных условий эксперимента.
5. В пятой главе представлены интересные результаты, касающиеся спектра флуктуаций давления плазмы, полученного из численного моделирования. В то же время никаких физических объяснений возникающего спектра не приводится, хотя спектр представляет собой расходящуюся в области малых частот зависимость и имеет характерный максимум в области изменения частотной зависимости.

Отмеченные выше недостатки, носящие, в основном, рекомендательный характер, не влияют на положительную оценку работы в целом. Диссертация Бытрого 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.

О соответствии диссертации и автореферата требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней»

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».

Даю свое согласие на обработку персональных данных.

Доктор физико-математических наук по специальности 01.04.21 – «Лазерная физика», ведущий научный сотрудник Сектора лазерно-плазменной физики высоких энергий Отдела квантовой радиофизики Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Физический институт имени П.Н. Лебедева РАН», 119991 ГСП-1 Москва, Ленинский проспект, 53, тел. 499 132 6906 E-mail: brantov@sci.lebedev.ru



Брантов Андрей Владимирович

Подпись Брантова А.В. заверяю:

Ученый секретарь ФИАН к.ф.-м.н. Колобов А. В. 119991, ГСП-1, г. Москва, Ленинский проспект, д. 53. (499) 132-62-06. scilpi@mail.ru

