

## ОТЗЫВ НА АВТОРЕФЕРАТ

диссертации Морозова Игоря Владимировича «Столкновительные и релаксационные процессы в неидеальной электрон-ионной плазме», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, специальность «физика плазмы»

Эксперименты по воздействию фемтосекундных лазерных импульсов на конденсированные мишени стали доступны с начала 1990-х годов. В настоящее время эта технология активно используется для генерации рентгеновских и гамма импульсов, терагерцового излучения, потоков электронов, ионов и нейтронов с высокими энергиями, в том числе для создания методов диагностики вещества с субпикосекундным временным разрешением, инициирования ядерных реакций, задач ядерной фотоники и медицинских приложений. Особую важность представляет взаимодействие лазерных импульсов с наноструктурированными и, в частности, кластерными мишенями, так как их использование существенно повышает энерговыход и позволяют рассмотреть ряд важных теоретических вопросов.

Под воздействием лазерного импульса вещество мишени ионизируется и превращается в плазму. Импульсы релятивистской интенсивности приводят к образованию горячей плазмы, которая хорошо описывается бесстолкновительными моделями (например, методом Particle-in-cell), однако при умеренной интенсивности лазерного импульса в диапазоне  $10^{12} - 10^{14}$  Вт/см<sup>2</sup> образующаяся плазма имеет температуру несколько электрон-вольт и практически твердотельную плотность, что обуславливает ее высокую степень неидеальности. В случае облучения такими импульсами кластерных мишеней большая часть ионизированных электронов удерживается в кластере за счет суммарного положительного заряда ионов, формируя таким образом, кластерную «наноплазму».

Диссертация Морозова И.В. посвящена исследованию равновесной и неравновесной неидеальной электрон-ионной плазмы, образующей в различных экспериментальных условиях, в том числе при облучении металлических кластеров короткими лазерными импульсами. В работе последовательно развивается два подхода к компьютерному моделированию неидеальной плазмы: метод классической молекулярной динамики и метод молекулярной динамики с волновыми пакетами. Оба метода позволяют исследовать вещество на микроскопическом уровне с учетом возможной неравновесности, при этом классический подход применим при слабом эффекте вырождения электронного газа, а более сложный метод динамики волновых пакетов – при плотностях электронов далеко за границей вырождения.

Разработка этих методов является актуальной для развития теории неидеальной плазмы и анализа экспериментальных данных, так как аналитические модели для описания уравнения состояния, проводимости, диэлектрической проницаемости, коэффициента отражения и поглощения в неидеальной плазме доступны лишь для немногих предельных случаев.

Следует отдельно отметить результаты четвертой главы диссертации, посвященной исследованию неидеальной кластерной наноплазмы. В результате моделирования ионизированных кластеров, состоящих из  $55 - 10^5$  атомов, получены


данные о величине установившегося заряда ионизованного наноразмерного кластера в зависимости от размера кластера, концентрации ионов и температуры электронов; показано, что заряд кластера в рассмотренной области параметров можно считать пропорциональным произведению конечной температуры электронов на радиус кластера, исследованы колебания электронов в равновесной кластерной наноплазме; разработана теоретическая модель, описывающая полученную в моделировании зависимость частоты поверхностных плазмонов от размера кластера; определены декременты затухания для объемных и поверхностных плазмонов в зависимости от параметра неидеальности. Эти результаты являются важным дополнением к рассмотренной в других главах однородной неидеальной плазме, так как показывают роль размерных эффектов.

Полученные результаты сопоставлены с известными для предельных случаев теоретическими моделями и результатами экспериментов, поэтому их достоверность и обоснованность сделанных на их основании выводов не вызывает сомнений.

Диссертация Морозова И.В. является законченной научно-квалификационной работой, подводящей итог большому циклу исследований. Она, несомненно, соответствующую всем критериям, установленным п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней № 842 от 24.09.2013г., ред. 01.10.2018г., а ее автор Морозов И.В. заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы.

Согласен на включение персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Профессор кафедры общей физики и волновых процессов  
физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова  
адрес: 119991 ГСП-1, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2,  
телефон (495) 939-5318, [abst@physics.msu.ru](mailto:abst@physics.msu.ru), <https://ofvp.phys.msu.ru/>  
д.ф.-м.н.



Савельев-Трофимов Андрей Борисович

Подпись Савельева-Трофимова А.Б. заверяю.  
Декан физического факультета  
МГУ им. М.В. Ломоносова  
проф.



В.В.Белокуров

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (МГУ им. М.В. Ломоносова), физический факультет,  
адрес: 119991 ГСП-1, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2,  
тел. (495) 939-16-82, e-mail: [info@physics.msu.ru](mailto:info@physics.msu.ru), web: <https://www.phys.msu.ru>