

## ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

о диссертационной работе Родионова Данила Александровича на тему «Плазменные колебания в латерально ограниченных двумерных электронных системах: роль эффектов электромагнитного запаздывания», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния

Я познакомился с Родионовым Данилом Александровичем в 2018 году, когда он будучи студентом третьего курса МФТИ посещал мои семинары по теории поля. Среди других студентов он выделялся стремлением разобраться в довольно сложном предмете, а также демонстрировал хорошие знания математики и физики. Поэтому я предложил ему научно-исследовательские задачи о плазменных колебаниях в двумерных электронных системах, которые и легли в основу его диссертационной работы.

**Диссертационная работа** посвящена исследованию плазменных резонансов в латерально ограниченных двумерных электронных системах в режиме, когда длина волны возбуждающего электромагнитного излучения сравнима с латеральными размерами системы, т.е. когда важны эффекты электромагнитного запаздывания.

**Актуальность исследования** в первую очередь связана с фундаментальными физическими проблемами описания плазменных колебаний в низкоразмерных электронных системах. Даже без учета электромагнитного запаздывания аналитическое описание плазменных резонансов в ограниченных системах затруднительно и возможно только в небольшом количестве частных случаев, таких как сильно экранированная система, полуплоскость и др. Учет эффектов электромагнитного запаздывания заметно усложняет описание плазменных колебаний и поэтому в литературе было получено очень мало аналитических результатов для латерально ограниченных систем в этом пределе. С другой стороны, такой режим может быть достаточно легко осуществим в эксперименте и в этом режиме, например, было экспериментально показано, что добротность плазменных резонансов в дисках может возрастать. Это может быть важно в дальнейшем при создании детекторов электромагнитного излучения, в том числе терагерцового диапазона частот, а также других приборов, использующих плазменные резонансы.

Работа была выполнена в лаборатории методов получения тонких пленок и пленочных структур (лаборатория 184) Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН.

Автор работы окончил с отличием Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» (МФТИ) по специальности 03.04.01 «Прикладная математика и физика» с присвоением квалификации «Магистр». С 2021 года по настоящее время Родионов Д.А. обучается в очной аспирантуре МФТИ по специальности 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния». С января 2018 года работает в ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН в должности инженера, а с 2023 г. по настоящее время в должности младшего научного сотрудника.

За время работы Родионов Д.А. проявил себя как целеустремленный, инициативный и ответственный исследователь, владеющий современными методами теоретической физики в области физики конденсированных сред. Мне кажется, что Данил Александрович уже состоялся как научный сотрудник. Он способен самостоятельно


проводить исследования, ставить и решать актуальные научные задачи, критически осмысливать и анализировать получаемые результаты, доводя их до публикаций в высокорейтинговых научных журналах. Отмечу также, что он успешно доносит свои результаты до научного сообщества на научных конференциях и семинарах, что, например, отмечено дипломом конкурса молодых учёных XXVIII Международного симпозиума «Нанофизика и наноэлектроника», прошедшем в 2024 году в г. Нижний Новгород, за доклад «Двумерные магнитоплазмоны и ротационно-гравитационные волны на мелкой воде в латерально ограниченных системах».

В представленной диссертационной работе теоретически исследовано влияние электромагнитного запаздывания на свойства плазменных колебаний в двумерных электронных системах в форме полосы и диска, в том числе когда вблизи расположен металлический электрод (затвор). Для диска, проводимость которого описывается динамической моделью Друде, найден спектр поглощения электромагнитных волн, в котором проанализированы основной (фундаментальный) и осесимметричный плазменные резонансы. Показано, что положение резонансов может быть оценено с помощью феноменологического квантования волнового вектора в выражении для частоты плазменных колебаний для бесконечной системы. Ширина этих резонансов не является суммой столкновительного и радиационного уширений, в отличие от широко распространенной модели с эллиптическим профилем концентрации в диске, причем ширина может быть меньше столкновительного уширения. Так же рассмотрен диск с идеально проводящим металлическим затвором. Показано, что в пределе сильного экранирования, когда расстояние до затвора много меньше радиуса диска, радиационное уширение мало из-за деструктивной интерференции между излучением от двумерной электронной системы и его отражением от металла. При отдалении затвора от системы ширина резонансов сначала падает, а затем возрастает и приобретает осциллирующий вид с затуханием, выходя на асимптотическое значение, соответствующее неэкранированной системе. Наконец, во второй главе, рассмотрена сильно экранированная двумерная электронная система в форме полосы с анизотропной проводимостью. Аналитически найдены частоты и затухание всех плазменных резонансов в этой системе.

Основные результаты диссертационной работы представлены в 5 публикациях в зарубежных рецензируемых журналах, входящих в системы цитирования Web of Science, Scopus и в Перечень ВАК, и в 18 докладах на всероссийских и международных конференциях.

Считаю, что диссертация «Плазменные колебания в латерально ограниченных двумерных электронных системах: роль эффектов электромагнитного запаздывания» соответствует всем требованиям ВАК Минобрнауки России, а её автор Родионов Данил Александрович заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния.

Научный руководитель,  
с.н.с. лаборатории № 184,  
кандидат физико-математических наук

  
Загороднев И.В.  
«20» марта 2025 г.

Подпись И.В. Загороднева удостоверяю  
Ученый секретарь  
ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН



И.И. Чусов