

## ОТЗЫВ

научного руководителя д.ф.-м.н., профессора Салецкого Александра Михайловича на диссертационную работу Глазунова Павла Сергеевича «Распространение электромагнитных волн в плоскостойких средах с неоднородными металлическими пленками», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. Радиофизика.

Диссертационная работа П.С. Глазунова посвящена теоретическим и экспериментальным исследованиям явления распространения электромагнитных волн в плоскостойких средах, в состав которых входят нанометровые металлические пленки. Тема работы является своевременной и актуальной, она представляет значительный интерес для ряда новых прикладных задач. Например, в настоящее время проводится активный поиск материалов для прозрачных электродов, используемых в гибких жидкокристаллических экранах. Нанометровые металлические пленки являются хорошим кандидатом для данной технологии, поскольку они обладают низкой степенью деградации при множественных циклах изгиба, а также хорошей адгезией к гибким подложкам (в отличие от традиционно используемого оксида-индия олова). Тонкие металлические пленки часто используются в качестве детекторов-поглотителей электромагнитного излучения в болометрах и термоакустических датчиках. Так в 2018 А.Е. Капланом была предложена новая конструкция кольцевого интерферометра для измерения автокорреляционной функции микроволнового реликтового излучения, в котором тонкая металлическая пленка играет роль подобного детектора. Исследование размерных эффектов проводимости имеет фундаментальное значение для оптимизации топологии интегральных микросхем. На сегодняшний день используются технологические узлы от 22 до 7 нм. При таких малых толщинах в слое металла в полной мере проявляются размерные эффекты. Учет данных эффектов необходим еще на этапе проектирования микросхемы.

Диссертационная работа П.С. Глазунова была выполнена на кафедре общей физики физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. Свою научную работу на кафедре общей физики П.С. Глазунов начал с 2014 г, обучаясь на втором курсе бакалавриата. Во время выполнения бакалаврского и магистерского дипломов он успешно работал над такими темами как «исследование воздействия мощных электромагнитных импульсов на проводящие частицы, интегрированные в диэлектрическую среду», а также «исследование излучения и дифракции электромагнитных волн элементарных источников, расположенных у плоской границы раздела диэлектрической и проводящей сред». В ходе обучения П.С. Глазунов проявил самостоятельность, высокий уровень физико-математической подготовки, умение формулировать и ставить задачи, а также способность использовать различные математические и численные методы для решения этих задач. Закончив с отличием магистратуру в 2018 году, П.С. Глазунов поступил в аспирантуру кафедры общей физики, за время обучения сдал все экзамены кандидатского минимума.

Основная часть диссертационной работы П.С. Глазунова посвящена разработке нового приближенного метода расчета оптических коэффициентов высокоэффективного для тонких металлических пленок. В диссертации проводится обобщение этого метода также и для многослойных плоскостойких сред, содержащих нанометровые металлические пленки. Главное преимущество подхода, предложенного П.С. Глазуновым, состоит в том, что его можно применять в случаях, когда метод Вентцеля — Крамерса — Бриллюэна, метод характеристической матрицы, а также приближение геометрической оптики неприменимы. На основе этого метода в диссертации был предложен новый бесконтактный способ измерения проводимости пленки, напыленной на диэлектрическую подложку. Этот способ был опробован в лаборатории № 201 Института радиотехники и электроники имени В.А. Котельникова Российской академии наук (ИРЭ РАН) и показал свою эффективность. Также теоретически и экспериментально был открыт эффект антибликовости тонких металлических пленок. Одна из глав диссертации полностью посвящена исследованию нелинейных эффектов, возникающих в

плоскостойких структурах, содержащих нанометровые металлические пленки. П.С. Глазуновым впервые был рассмотрен тип нелинейности, возникающий за счет нагрева вследствие изменения термодинамического состояния среды. Диссертантом был выполнен большой объем работы по составлению разностной схемы для моделирования распространения видеоимпульсов в подобных средах, поиску статей, описывающих подходящие материалы и установки для наблюдения вышеописанных нелинейных эффектов. Все вышесказанное свидетельствует о высокой квалификации П.С. Глазунова как специалиста в области теории дифракции и распространения электромагнитных волн.

Во время обучения на кафедре общей физики П.С. Глазунов активно сотрудничал с лабораторией № 201 Института радиотехники и электроники имени В.А. Котельникова Российской академии наук (под руководством В.А. Черепенина), где участвовал в выполнении нескольких грантов Российского Фонда Фундаментальных Исследований (гранты 20-07-00903, 18-29-02094, 16-29-09581, 16-07-01246, 13-02-12233). Результаты работ П.С. Глазунова многократно представлялись на отечественных и международных научных конференциях (где нередко вызывали интерес среди специалистов), опубликованы в трудах научных конференций, а также в рецензируемых научных журналах. Результаты работы П.С. Глазунова являются важным вкладом в теорию распространения волн в неоднородных средах, в частности они дают понимание того, как размерные эффекты проводимости пленки влияют на волновые процессы, происходящие в подобных системах.

При написании диссертации П.С. Глазунов проявил себя как ответственный и исполнительный специалист, подходящий к своей работе с энтузиазмом и усердием, способный выполнять большой объем теоретических расчетов за короткие сроки.

Считаю, что диссертационная работа П.С. Глазунова «Распространение электромагнитных волн в плоскостойких средах с неоднородными металлическими пленками» выполнена на высоком научном уровне и представляет собой законченное научное исследование, полностью соответствует специальности 1.3.4. «Радиофизика» и удовлетворяет требованиям «Положения о присуждении учёных степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова», предъявляемым к кандидатским диссертациям. Рекомендую диссертационную работу «Распространение электромагнитных волн в плоскостойких средах с неоднородными металлическими пленками» Глазунова Павла Сергеевича к защите на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. «Радиофизика».

Научный руководитель:  
заведующий кафедрой общей физики  
физического факультета ФГБОУ ВО  
«Московский государственный  
университет имени М.В. Ломоносова»  
доктор физико-математических наук, профессор

А.М. Салецкий

Дата составления отзыва: 20 мая 2024 года.

119991, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 2  
Телефон: +7 495 939-24-37  
E-mail: sam@physics.msu.ru

Подпись Салецкого Александра Михайловича УДОСТОВЕРЯЮ:

И.о. декана физического факультета  
МГУ имени М.В. Ломоносова,  
доктор физико-математических наук, профессор

В.В. Белокуров