

ОТЗЫВ

**официального оппонента, д.ф.-м.н. Тиходеева Сергея Григорьевича на
диссертационную работу Антонова Александра Алексеевича
«Диэлектрические метаповерхности для аномального преломления
света и максимальной оптической хиральности»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук по специальности 1.3.8. – «физика
конденсированного состояния»**

Актуальность диссертационной работы

Целью диссертационной работы А.А. Антонова является разработка и теоретическое исследование диэлектрических метаповерхностей для аномального преломления света под скользящими углами и для достижения максимальной оптической хиральности. Это два весьма важных как с фундаментальной, так и прикладной точек зрения направления исследований в области физики метаповерхностей, бурно развивающейся в последнее время, и поэтому, безусловно, актуальных.

Структура и основное содержание диссертации

Диссертация А.А. Антонова содержит Введение, три Главы, Заключение, а также все необходимые Приложения (публикации автора по теме диссертации, список литературы, списки сокращений, рисунков и таблиц). Как и вся диссертация как целое, каждая глава диссертационной работы хорошо структурирована, имеет свое заключение с формулировкой основных результатов. В конце работы представлены общие выводы, которые в полной мере отражают основные научные результаты и способствуют лучшему восприятию текста. Диссертация изложена на 101 странице, включает в себя

19 рисунков и 2 таблицы. Список публикаций по теме диссертации содержит 5 публикаций в изданиях из списка ВАК, включая статьи в таких высокорейтинговых журналах как Physical Review Letters, Advanced Optical Materials и Science Advances. Дополнительный список из 5 публикаций автора в сборниках трудов конференций доказывает актуальность вошедших в диссертацию исследований и высокий уровень их апробации. Список литературы состоит из 157 наименований цитируемой литературы.

Во введении описана актуальность проведённых исследований, сформулированы основные цели и задачи, изложены основные научные результаты вместе с их практической значимостью. Введение также содержит информацию об апробации работы и положениях, выносимых на защиту.

В Главе 1 автор приводит довольно подробный и хорошо построенный обзор научных публикаций по исследуемой тематике.

Глава 2 посвящена решению задачи об аномальном преломлении света под скользящими углами.

Для достижения желаемой оптической функциональности автор предлагает слои диэлектрика с периодическим рельефом в виде конечного ряда Фурье-гармоник. В Главе показано, как взаимодействие света с подобными Фурье-метаповерхностями может быть довольно точно описано с помощью аналитической теории на основе гипотезы Рэлея. Автор формулирует границы применимости гипотезы путем сравнения результатов, полученных с помощью развитой аналитической теории и полномасштабного численного моделирования.

В Главе также показано, как, используя аномальное преломление света под скользящими углами, можно перенаправлять свет между противоположными каналами дифракции за счёт изменения длины волны порогов дифракции. Последнее осуществляется либо наклонном падающего света, либо изменением показателя преломления подложки.

Глава 3 посвящена диэлектрическим метаповерхностям с максимальной хиральностью. Автор демонстрирует, как за счёт нарушения симметрии

метаповерхности и, как следствие, настройки её собственных состояний - связанных состояний в континууме, можно добиться максимальной возможной разницы между коэффициентами пропускания волн с левыми и правыми круговыми поляризациями. Максимальная оптическая хиральность демонстрируется как для структур с вращательной осью четвертого порядка, так и для метаповерхностей без точечных элементов симметрии.

В Главе также рассматриваются нехиральные метаповерхности, состоящие из треугольных призм с зеркальными плоскостями симметрии, по-разному взаимодействующие с наклонно падающим светом круговых поляризаций. В Главе не только дано объяснение оптических свойств подобных симметричных структур в терминах мультипольного разложения, но и описывается практическая значимость метаповерхностей для метарезонаторов с фото- и электролюминесценцией.

Заключение содержит основные итоги диссертации вместе с перспективами развитых в работе теоретических методов конструирования метаповерхностей.

Обоснованность и достоверность полученных результатов

Достоверность и обоснованность представленных в работе теоретических результатов по аномальному преломлению света, полученных в рамках разработанного автором аналитического подхода, основанного на гипотезе Рэлея (Глава 2), подтверждается сравнением с аналогичными результатами, полученными в рамках численного моделирования методом конечных элементов. Достоверность и обоснованность результатов, относящихся к диэлектрическим метаповерхностям с максимальной хиральностью (Глава 3), подтверждена с помощью экспериментальных данных. О высокой достоверности и обоснованности результатов свидетельствует также и упомянутое выше их опубликование в высокорейтинговых журналах из списка ВАК, а также доклады автора на весьма представительных международных конференциях.

Научная ценность и практическая значимость работы

В работе получено несколько очень, на мой взгляд, интересных и ценных фундаментальных результатов, которые безусловно будут иметь и большую практическую ценность. Я бы выделил очень изящную аналитическую формулировку гипотезы Рэлея в Главе 2, позволившую автору решить проблему оптимизации диэлектрических Фурье-метаповерхностей, аномально преломляющих свет под скользящими углами, проанализировать, какие материалы можно использовать для их изготовления, а также предложить диэлектрические Фурье-метаповерхности расширенной функциональности. С помощью последних можно изменять длины волн порогов дифракции и тем самым перенаправлять свет между противоположными дифракционными каналами, управляемо отклоняя таким образом свет на большие углы. Весьма интересная и с большими возможностями для практического применения, например, в спектроскопии и сенсорике, включая биосенсорику, схема понижения симметрии для создания метаповерхности с максимальной хиральностью предложена в Главе 3. Этот изящный результат порадовал многих специалистов, работающих в данной области (включая и автора данного отзыва).

Замечания по диссертации

1) В Главе 2 рассматриваются только ТМ-поляризованные волны. В разделе 2.1.2 (на с. 23) автор указывает, что это делается для наглядности. Это можно понять так, что полученные автором результаты можно было бы обобщить и для ТЕ поляризации. Однако это не сделано, и, на мой взгляд, было бы весьма интересно сделать.

2) В Главе 2, разделе 2.2.3 автор показывает, что с увеличением числа пространственных Фурье-гармоник разработанный аналитический метод в рамках гипотезы Рэлея теряет устойчивость и перестает сходиться с результатами численного моделирования. Автор, по-видимому, корректно

диагностирует причину накопления численных ошибок. На взгляд рецензента, данная ситуация сходна с хорошо известной проблемой неустойчивости Фурье-модальных методов расчета оптического отклика фотонно-кристаллических слоев и метаматериалов (типа RCWA) в формулировке на языке матриц переноса. Нет ли способа улучшить сходимость разработанного автором метода на основе гипотезы Рэлея, аналогичного переходу от матриц переноса к матрицам рассеяния в RCWA, когда каналы экспоненциально расходящихся гармоник отделяются от экспоненциально спадающих каналов?

3) Автор, на мой взгляд, несколько злоупотребляет аббревиатурами, часто не слишком распространенными. Например, ГР для гипотезы Рэлея, ПКП и ЛКП для правой и левой круговой поляризации. К счастью, в диссертации есть список сокращений, но он отсутствует, например, в автореферате. Мне представляется, что использование терминов без сокращений, с одной стороны, не привело бы к существенному увеличению объема диссертации, а с другой – упростило бы внимательное чтение представленных квалификационных работ высокого уровня.

Приведенные замечания не снижают общей высокой оценки диссертации, не влияют на общее впечатление о работе и на положительную оценку.

Итоговое заключение

Диссертация оформлена в соответствии с требованиями ВАК. Стиль изложения диссертации четкий и ясный. Личный вклад диссертанта не подлежит сомнению. Все результаты, представленные в работе, получены лично автором, либо при его непосредственном участии. Обсуждение результатов и их интерпретация проводились совместно с научным руководителем и соавторами публикаций.

Диссертационная работа «Диэлектрические метаповерхности для аномального преломления света и максимальной оптической хиральности» полностью соответствует критериям, предъявляемым к кандидатским

диссертациям, установленным согласно разделу 2 «Положения о порядке присуждения учёных степеней» от 24 сентября 2013 г. №842, утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации, а её автор, Антонов Александр Алексеевич, заслуживает присуждения ему степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8.-«Физика конденсированного состояния»

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,
профессор, член-корреспондент РАН
профессор кафедры общей физики
и физики конденсированного состояния
физического факультета
ФГБОУВО «МГУ имени М.В.Ломоносова»

ТИХОДЕЕВ Сергей Григорьевич

« 13 » сентября 2023 г.

Контактные данные:

тел.: +7(499) 503-8777 доб. 102, e-mail: tikh@gpi.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:

01.04.07 – Физика конденсированного состояния

Адрес места работы:

119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, Дом 1, строение 2.

ФГБОУВО «МГУ имени М.В.Ломоносова», физический факультет

Тел.: +7 495 939-16-82; e-mail: info@physics.msu.ru

Подпись сотрудника МГУ имени М.В.Ломоносова

С.Г. Тиходеева удостоверяю:

Ученый секретарь физического факультета

МГУ им. М.В. Ломоносова

д.ф.-м.н, профессор



В.А. Караваев