

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе
ФГБОУ ВО Национальный
исследовательский университет
«МЭИ»

доктор технических наук,
профессор



 В. К. Драгунов

«13» 09 2023

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет "МЭИ"» на диссертационную работу Стенищева Ивана Владимировича «Мультипольные эффекты в метаматериалах и кубитах», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния».

Актуальность диссертационной работы

Исследование метаматериалов и метаповерхностей – одна из передовых областей нанофотоники за счет возможности реализации в них широкого ряда интересных эффектов, таких как эффекты Керкера или анапольные состояния. Такие резонансные структуры стали перспективными платформами для реализации большого числа приложений, например, высоконаправленные антенны, датчики электромагнитного поля, магнитные зеркала. Отдельное внимание научного сообщества сконцентрировано на конструировании неизлучающих систем, для получения которых, сегодня существует несколько подходов, одно из них – наведение деструктивной интерференции отдельных членов мультипольного ряда. Поиск решений для создания неизлучающих систем поспособствует разработке устройств с

подавленными радиационными потерями, высокочастотных резонаторов, датчиков, а так же систем, где необходимы высокие времена когерентности.

Работа Стенищева И.В. посвящена поиску неизлучающего состояния на базе деструктивной интерференции электрического и тороидного дипольных моментов. Это направление прослеживается на протяжении всей диссертации и приведены как теоретические выкладки, так и результаты экспериментального исследования. В основе работы лежит метод мультипольного разложения токов, наведенных в системе, на элементарные гармоники – члены мультипольного ряда. Такой анализ позволяет оценить вклады отдельных гармоник в рассеянную мощность объекта, а так же их интерференцию. Этот метод является ключевым в описании резонансных характеристик объекта и неотъемлемой частью исследования анапольных состояний.

Таким образом, исследование эффектов связанных с интерференцией членов мультипольного ряда является весьма актуальной и востребованной задачей для научного сообщества, как с научной, так и с практической точки зрения.

Научная новизна работы

Научная новизна диссертационной работы заключается в теоретическом описании анапольной моды для диэлектрических и проводящих включений, а так же конструировании таких систем и реализации сильной локализованного электромагнитного поля в субволновой области. В работе описан механизм перехода анапольного состояния в зависимости от варьирования диэлектрической проницаемости компонентов метаматериала, и продемонстрирована зависимость анапольного состояния от симметрии структуры.

Практическая значимость

Результаты диссертационной работы имеют высокую практическую значимость, которая заключается в расширении границ применимости неизлучающих состояний. Выкладки, приведенные в исследовании, могут

поспособствовать созданию датчиков и сенсоров с повышенной чувствительностью и высокочастотных резонаторов за счет сильной локализации электромагнитных полей в субволновой области. Кроме того, использование анапольного состояния в качестве платформы для создания мета-атома способствуют разработке изолированных систем с высокими временами когерентности.

Структура диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав и заключения, изложенных на 101 странице машинописного текста включая 50 рисунков и 7 таблиц, список использованных источников содержит 125 наименований.

Во **введении** автор приводит убедительные доказательства актуальности проводимого исследования, четко сформулированы цели и задачи, приведена общая характеристика работы. Приводится краткий обзор литературы по тематике исследования и описывается научная новизна и научно-практическая значимость диссертационной работы.

В **первой главе** приводится детальный разбор разложения скалярного и векторного потенциалов в ряд, а так же методика получения неприводимых членов мультипольного разложения. В этой главе приводится техника возбуждения анапольного состояния, которое будет использоваться далее, на протяжении всей диссертации.

Вторая глава посвящена разработке метаматериала с тороидным откликом, разработанного на базе диэлектрических включений. В рамках этой части исследования автор пользуется широким кругом методик, включая компьютерное моделирование, расчет вкладов членов мультипольного ряда в рассеяние, измерения коэффициентов прохождения/отражения, а так же измерение электрической и магнитной компонент поля. В качестве объекта исследования сконструированы три модели, отличающиеся как геометрическими размерами, так и диэлектрической проницаемостью, что добавляет полноты исследованию. Особое внимание уделено разложению скалярного и векторного потенциалов

в ряд, описанию получения элементарных гармоник – приводимых и неприводимых мультиполей.

Третья глава является логическим продолжением исследования. Здесь рассматривается конструирование сверхпроводящего ангармонического мета-атома с анапольной конфигурацией токов. В работе был рассчитан и изготовлен круглый волновод, который используется для возбуждения анапольного состояния с помощью волноводной моды TM_{01} . В качестве теоретических методов было использовано компьютерное моделирование системы и мультипольный анализ. Экспериментальная часть содержит низкотемпературные измерения с непрерывным спектром в криостате растворения. Результаты, полученные в рамках теоретического исследования, имеют хорошее согласование с экспериментальными измерениями.

В **заключении** диссертантом в лаконичной форме обобщены проведенные исследования и полученные результаты. **Выводы** диссертационного исследования логически вытекают из изложенных результатов, соответствуют поставленным в работе цели и задачам.

Достоверность и обоснованность положений и выводов диссертации

Достоверность и обоснованность результатов диссертации заключается в корректной постановке физических задач и использовании современных методов исследования. Теоретические и экспериментальные результаты хорошо согласуются, а использование в работе широкого спектра методик добавляет полноты исследованию.

Результаты диссертационной работы Стенищева И.В. были представлены научному сообществу в виде докладов на 8 всероссийских и международных конференциях, а также опубликованы в 6 научных работах, в число которых входят статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ и индексируемых базами данных Web of Science и Scopus.

Информация, представленная в автореферате, полностью отражает содержание теоретических и практических положений диссертации, выводы идентичны.

Замечания и вопросы к содержанию диссертационной работы

В целом диссертационная работа производит благоприятное впечатление, недостатков принципиального характера в содержании работы, основных положениях и выводах рассматриваемой работы нет, однако есть несколько замечаний.

- В работе присутствуют опечатки и неточности. В некоторых местах в формулах дублируются функции, например (5), (7), (22).

- Имеются нарушения требований национальных стандартов Российской Федерации ГОСТ 2.105-95, ГОСТ Р 7.0.11- 2011 и ГОСТ Р 7.0.100-2018.

- На протяжении всей диссертации приводятся результаты разложения в мультипольный ряд, однако в зависимости от главы, набор мультипольных членов отличается, с чем связан выбор тех или иных гармоник?

- В первой главе приводятся результаты измерения электрического и магнитного поля, однако, отсутствует описание схемы измерений, не описывается датчики, которыми проводились измерения.

Сделанные замечания не влияют на основные положения диссертации и не снижают ценности, важности и высокого научного уровня проведенных исследований.

Заключение

Принимая во внимание актуальность выполненной работы, ее научную новизну, обоснованность выводов, а также их существенную фундаментальную и практическую значимость, можно заключить, что диссертационная работа Стенищева Ивана Владимировича «Мультипольные

эффекты в метаматериалах и кубитах» представляет завершенную научно-квалификационную работу, выполненную на высоком методическом уровне, которая полностью соответствует требованиям пункта 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а ее автор заслуживает присуждения искомой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния». Диссертационная работа была заслушана и обсуждена на заседании научного семинара кафедры формирования и обработки радиосигналов Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Национального исследовательского университета МЭИ» «13» сентября 2023 года (протокол № 2).

Кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой формирования
и обработки радиосигналов
Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова
федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский университет "МЭИ"»

Сафин Ансар Ризаевич



Сафин А.Р.

« 13 » 09 2023 г.

Адрес: Россия, Москва, 119435, ул. Красноказарменная, д. 13, ауд. Е-420
+7 495 362-73-84, +7 495 362-79-41, +7 495 362-89-38 (факс)

RPU@mpei.ru, FKS@mpei.ru

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Национальный исследовательский университет
"МЭИ"». Сайт: <https://mpei.ru/>

тел.: +7 495 362-73-84; e-mail: SafinAR@mpei.ru