Вх № 10-03/37
от 27.10.2026

ОТЗЫВ
официального оппонента о диссертационной работе
СЕРДЮКА Владимира Михайловича
«Теория электромагнитной дифракции на отверстиях в проводящих экранах и в плоскопараллельных диэлектрических структурах»
представленную на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук
по специальности 01.04.02 – теоретическая физика

Соответствие диссертации специальности и отрасли науки, по которым она представлена к защите

Диссертационная работа В.М. Сердюка посвящена развитию точных аналитических методов теории дифракции электромагнитных полей широкого частотного диапазона и различного пространственного распределения, а также их реализации при решении конкретных граничных задач классической электродинамики — расчёте структуры полей, дифрагированных на отверстиях в идеально проводящих и плоско-слоистых диэлектрических экранах. Тематика работы соответствует пунктам «Развитие и применение фундаментальных физических концепций, теорий, методов и моделей для описания физических явлений в веществах и полях» и «Математические методы теоретической физики» паспорта специальности 01.04.02 – теоретическая физика по физико-математическим наукам, утвержденному Приказом Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь № 104 от 30 апреля 2025 года.

Объект исследования:

двумерные электромагнитные поля оптического, микроволнового и радио диапазонов, возникающие при распространении и дифракции полей на отверстиях в плоских проводящих экранах и в многослойных плоскопараллельных диэлектрических структурах.

Предмет исследования: амплитудные и фазовые характеристики дифракционных полей, а также закономерности их распределения в пространстве в зависимости от параметров самих дифракционных систем.

Содержание диссертации соответствует физико-математическим наукам и специальности 01.04.02 – теоретическая физика.

Актуальность темы диссертации

Дифракция световых волн на отверстиях в непрозрачных экранах относится к классическим задачам физической оптики. Кроме того, подобные задачи — например, дифракция электронов на двух щелях или двух отверстиях — рассматриваются во многих учебниках квантовой теории как иллюстрация вол-

новых представлений о микрочастицах материи. Показательно, что, несмотря на практическую и методологическую значимость таких задач, точные решения для них до последнего времени не были известны. В литературе представлены лишь приближённые решения — для отверстий, размеры которых значительно меньше или значительно больше длины волны излучения, — а также решения, полученные прямым численным моделированием интегральных или дифференциальных уравнений для полей. Однако такие решения не могут заменить строгих аналитических решений задач дифракции: численные результаты носят приближённый характер и плохо поддаются детализированному анализу. К сожалению, число известных строгих решений дифракционных задач недостаточно для научных и прикладных потребностей, и этот недостаток теории со временем будет ощущаться всё острее — с учётом общей тенденции развития современной науки и техники ко всё большей миниатюризации.

Ещё одна весьма актуальная проблема теории — описание явлений полного внутреннего отражения, нарушенного полного внутреннего отражения и волноводного возбуждения монохроматических световых полей в плоскослоистых диэлектрических структурах. Наука и практика уже более полувека активно используют эти явления в спектроскопии, оптической электронике, во многих оптических приборах, системах передачи излучения и т.д. Однако до сих пор, за неимением лучшего, при теоретическом описании указанных явлений применяется плосковолновая модель световых пучков. Принципиальное ограничение этой модели состоит в том, что она способна описать пространственную структуру светового поля в многослойной среде только в одном пространственном измерении — и то с искажениями, — тогда как реальные пучки имеют конечную поперечную структуру, и именно её поведение в многослойной среде представляет первостепенный интерес как для теории, так и для приложений. В представленной работе предлагается приближённая двумерная аналитическая модель расчёта поля преломления гауссова пучка в плоскослоистом диэлектрике при наличии указанных явлений в отдельных слоях. Представляется перспективным, что такая модель позволит физикам-экспериментаторам, инженерам, химикам и биологам реально оценивать пространственную структуру светового поля в различных условиях — не прибегая к трудоёмкому численному моделированию и не ограничиваясь одномерным приближением.

Тематика диссертации соответствует пунктам

6. Электроника и фотоника,

8. Многофункциональные материалы и технологии,

12. Междисциплинарные исследования

Перечня приоритетных направлений научных исследований Республики Беларусь на 2016 – 2020 годы, утвержденного Постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 190 от 12 марта 2015 года,
а также пунктам

1.Цифровые информационно-коммуникационные и междисциплинарные технологии, основанные на них производства:

математика и моделирование сложных функциональных систем (технологических, биологических, социальных);

4.Машиностроение, машиностроительные технологии, приборостроение и инновационные материалы:

лазерные, плазменные, оптические технологии и оборудование;

микро-, опто- и СВЧ-электроника, фотоника, микросенсорика;

радиоэлектронные системы и технологии, приборостроение;

наноматериалы и нанотехнологии, нанодиагностика

Перечня приоритетных направлений научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021 – 2025 годы, утвержденного Указом Президента Республики Беларусь № 156 от 7 мая 2020 года.

Степень новизны результатов и научных положений, выносимых на защиту

Результаты настоящей диссертационной работы являются принципиально новыми и научно обоснованными. К ним относятся:

- точные решения задач дифракции электромагнитных волн на щелевых и круговых отверстиях в плоских идеально проводящих экранах конечной и бесконечно малой толщины;
- точные решения задач дифракции на отверстиях и на полосе при наличии плоского диэлектрического слоя за экраном, играющего роль объекта воздействия электромагнитного излучения; до сих пор в теории необходимость учёта такого объекта игнорировалась, между тем для микроотверстий в ближней зоне появление диэлектрика заметно трансформирует дифракционное поле;
- теоретическая модель явления безлинзовой дифракционной фокусировки светового излучения в ближней зоне микроотверстий и метод определения параметров системы, при которых это явление наблюдается;
- теоретически предсказанные аномальные особенности структуры поля преломления гауссова светового пучка при скользящем преломлении на границе двух однородных прозрачных сред;
- приближённая модель преломлённого поля при полном внутреннем отра-

жении гауссова светового пучка;

- приближённая модель расчёта поля гауссова пучка при прохождении многослойных диэлектрических структур и теория явления волноводного возбуждения при нарушенном полном внутреннем отражении.

Существенно, что и приближённые модели, упомянутые в последних двух пунктах, доведены до вида, пригодного для количественных оценок, и не сводятся к пересказу известных приближений.

Обоснованность и достоверность заключительных выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Достоверность результатов работы, основанных на полученных соискателем новых теоретических моделях задач дифракции, определяется строгим подходом к решению уравнений Максвелла — уравнений, составляющих фундамент классической электродинамики и убедительно подтверждённых всей историей физики и практики за полтора столетия их применения: от теории электромагнитных волн до современных оптических технологий. Именно на этой основе — а не на приближённых эвристических построениях — автором получены строгие решения для дифрагированных полей, и уже это само по себе служит залогом их надёжности. Адекватность же приближённых решений для преломлённого поля гауссова пучка следует из того, что эти решения строились на основе непосредственного сравнения с точными решениями, которые определялись в виде интеграла Фурье при одних и тех же условиях преломления.

Научная, практическая, экономическая и социальная значимость результатов диссертации рекомендации по их использованию

В математической теории дифракции известно слишком малое число строгих решений дифракционных задач, поэтому появление каждого такого решения является событием теории. В настоящей работе автор представляет сразу несколько строгих решений задач волновой дифракции на отверстиях — щелевых и круговых — в пустом пространстве и в присутствии плоских диэлектриков за отверстиями. Строгие решения дифракции на разных физических объектах имеют не только научное, но и большое практическое значение, поскольку служат основой прикладных приближённых моделей для более сложных физических систем, содержащих такие объекты, — как, например, решение Зоммерфельда для полуплоскости и решение Ми для шара. Представленные в работе новые строгие решения дифракционных задач, несомненно, также найдут широкое применение при моделировании сложных систем передачи и преобразования электромагнитного излучения.

Не меньшее научное значение имеют представленные в работе результаты по теоретическому моделированию пространственной структуры полей преломления световых пучков в многослойных диэлектриках. До сих пор при описании прохождения световых пучков через такие структуры применялась плосковолновая модель пучка, которая не в состоянии определить поле волноводных мод и поле преломления в условиях резонансного прохождения плоскослоистых диэлектриков при волноводном возбуждении и при полном внутреннем отражении. В работе предложена приближённая аналитическая модель описания подобных явлений, вполне пригодная для применения в интегральной оптике, в спектроскопии полного внутреннего отражения и в других областях современной оптической науки и техники.

Практическая ценность предложенных моделей не исчерпывается их научным значением. Строгие решения и приближённые аналитические модели, доведённые до вида, пригодного для количественных оценок, позволяют сократить объём трудоёмкого численного моделирования и натурных экспериментов при проектировании устройств интегральной оптики, спектроскопии нарушенного полного внутреннего отражения и систем передачи излучения. Тем самым создаются предпосылки для экономического эффекта — за счёт снижения затрат на расчётно-экспериментальное сопровождение разработок, — а развитие методов ближнепольной оптики, дифракционной фокусировки и волноводного возбуждения имеет и социальное измерение, поскольку лежит в основе диагностических и аналитических приборов, востребованных в медицине, биологии и химии.

Полнота изложения основных положений и результатов диссертации в опубликованных работах

Выносимые на защиту положения полностью отражены в 29 научных публикациях, 18 из которых (общим объёмом 12 авторских листов) представляют статьи, опубликованные в рецензируемых научных журналах, соответствующих п. 19 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, в том числе 15 статей и 2 кратких сообщения в зарубежных англоязычных научных журналах США и Западной Европы.

Опубликованность результатов диссертационной работы полностью удовлетворяет требованиям ВАК.

Оценка оформления работы

Диссертационная работа и автореферат оформлены в соответствии с требованиями ВАК о порядке оформления квалификационной научной работы на соискание ученой степени доктора наук.

Содержание автореферата в полной мере соответствует содержанию диссертации и основным положениям выносимым на защиту.

Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует

Анализ содержания диссертации показал высокую научную квалификацию автора как физика-теоретика. Разнообразие использованных аналитических методов и математическая глубина решённых сложнейших проблем математической физики в области классической электродинамики подтверждают, что научная квалификация Сердюка Владимира Михайловича соответствует учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.02 — теоретическая физика. Это подтверждается также публикациями соискателя в ведущих профильных журналах и апробацией результатов на 9 международных, всероссийских и республиканских конференциях и симпозиумах.

Замечания по работе

1. Представляется слишком искусственным объединение в рамках одной работы двух совершенно разных по тематике направлений, которые никак не пересекаются между собой, а именно строгих задач апертурной дифракции (главы 2–5) и задач моделирования пространственной структуры полей преломления пучков при полном внутреннем отражении (главы 6–7).

2. Было бы не вполне правильным резко разделять строгие и численные решения дифракционных задач. В ряде случаев численные решения вполне удовлетворяют критерию математической строгости; к тому же строгие решения, представленные в работе, не являются по своему характеру полностью аналитическими и требуют численного решения систем уравнений.

3. В п. 2.4 рассмотрена асимптотика полей дифракции на краях щели в бесконечно тонком проводящем экране. Аналогичным образом в главе 4 следовало бы рассмотреть асимптотику поля на краях щели в проводящих экранах конечной толщины, которая заметно отличается от таковой у тонкого экрана. Это важно при численном моделировании задач дифракции на сложных структурах со щелями.

4. Для практики важны рекомендации теории по выбору наиболее оптимальных схем экспериментов для достижения того или иного максимального эффекта. К сожалению, в работе не проведено соответствующее исследование явления безлинзовой фокусировки отверстиями в проводящих экранах (глава 5). Создаётся впечатление, что частные случаи, для которых проводились конкретные вычисления, выбирались случайным образом, а графики, на ко-

торых приведены результаты таких вычислений, носят чисто иллюстративный характер.

5. Аналогичное замечание можно высказать и по поводу теории возбуждения волноводных мод в многослойных диэлектриках (глава 7). Нет чётких указаний на оптимальный выбор конкретных схем такого возбуждения в зависимости от толщины диэлектрических слоёв, их показателей преломления и ширины пучка для достижения максимальной интенсивности волноводного излучения.

6. Объём Приложения в диссертации можно было бы значительно уменьшить, сократив разделы, представленные в мировой литературе.

Приведенные выше замечания не влияют на положительную оценку диссертационной работы в целом.

Заключение

Таким образом, диссертационная работа Сердюка В.М. «Теория электромагнитной дифракции на отверстиях в проводящих экранах и в плоскослоистых диэлектрических структурах» представляет собой завершенную квалификационную научную работу, которая отвечает требованиям ВАК Республики Беларусь, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. Работа содержит новые научно обоснованные теоретические результаты, совокупность которых является крупным достижением в развитии математической теории дифракции и распространения электромагнитных волн в диэлектрических и металлодиэлектрических передающих и преобразующих системах.

Считаю, что автор диссертационной работы Сердюк Владимир Михайлович заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика за:

– построение строгих решений задач электромагнитной дифракции на отверстиях щелевой и круговой геометрии в плоских проводящих экранах в пустом пространстве и в присутствии диэлектриков за экранами;

– разработку нового метода оценки асимптотического поведения дифракционных полей вблизи краев проводящих отверстий, что необходимо для численного расчета полей дифракции в поперечно ограниченных дифракционных системах;

– разработку дифракционной теории явления безлинзовой фокусировки в ближней зоне малоразмерных отверстий в непрозрачных плоских экранах;

– теоретическое и модельное исследование пространственной структуры

поля преломления гауссова светового пучка при полном внутреннем отражении и особенно при скользящем преломлении на границе двух диэлектрических сред;

– построение теории распространения гауссовых пучков в плоскослоистых диэлектрических средах при наличии эффектов полного внутреннего отражения и волноводного возбуждения в отдельных слоях.

Я, Сердюков Анатолий Николаевич, даю согласие на публикацию данного отзыва в открытом доступе на официальном сайте Института физики НАН Республики Беларусь.

Профессор кафедры оптики
факультета физики и информационных технологий
Гомельского государственного университета
имени Франциска Скорины
доктор физико-математических наук,
профессор, член-корреспондент НАН РБ А.Н. Сердюков

АДДЗЕЛ КАДРАЎ
Сердюков
26.10.2026