

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РЕЗОНАТОРА МЁБИУСА

Лытаев А.А. (Национальный исследовательский университет ИТМО)

Совершенов И. Д. (Национальный исследовательский университет ИТМО)

**Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор Попов И.Ю.
(Национальный исследовательский университет ИТМО)**

Введение. Резонатор Мёбиуса представляет собой систему с уникальной топологией, привлекающей внимание исследователей в различных областях физики. В частности, оптический резонатор Мёбиуса широко применяется в различных научных и технологических направлениях. Он может использоваться для реализации топологической защиты оптического сигнала, что позволяет создавать как более надёжные квантовые каналы связи, так и устойчивые к ошибкам физические реализации квантовых оптических операций.

Эффект накопления фазы Берри, возникающий в оптическом резонаторе Мёбиуса, может быть использован для генерации запутанных состояний. Более того, особая топология данного устройства увеличивает плотность энергии оптического излучения и усиливает нелинейные взаимодействия, играющие важную роль в квантовой оптике. На текущий момент многие из этих эффектов уже активно исследуются различными научными группами как теоретически, так и экспериментально. Однако, остаётся важным вопрос влияния геометрических параметров системы, таких как радиус изгиба, на потери в системе и нежелательное искажение сигнала, отличное от фазы Берри. Исследованию данного вопроса посвящена данная работа.

Основная часть. Данное исследование проводится численно с использованием коммерческого пакета вычислений COMSOL Multiphysics с применением метода конечных элементов. Анализируется влияние радиуса изгиба ленты Мёбиуса на точность контроля фазового сдвига сигнала, а также потери на излучение из-за изгиба волновода.

Кроме того, исследуются различные геометрические параметры системы и их влияние на фазовый сдвиг сигнала, а также конструктивную и деструктивную интерференцию с оптическими модами прямого волновода. В ходе моделирования наблюдается и описывается эффект расщепления резонансных пиков. Дополнительно рассматривается модель материала, наделённая потерями, описываемыми показателем преломления с мнимой частью. Проведено сравнение этих параметров с аналогичными характеристиками кольцевого резонатора, что позволяет оценить уровень топологической защиты, предлагаемой данной геометрией для оптических каналов связи и квантовых вычислений. Q-фактор системы рассчитывается на основе спектрального анализа мод резонатора. Оценивается влияние различных геометрических параметров на этот показатель и общую эффективность резонатора.

Выводы. Полученные результаты моделирования позволяют оценить применимость резонатора Мёбиуса для различных задач, таких как управление модами в волноводе, контроль их фаз, а также обеспечение топологической защиты оптического сигнала. Показано, что увеличение радиуса изгиба в резонаторе Мёбиуса приводит к уменьшению потерь на излучение, однако слишком длинные оптические пути могут усиливать рассеяние на структурных дефектах материала, что снижает эффективность топологической защиты.

Список использованных источников:

1. Wang J., Valligatla S., Yin Y. et al. Experimental observation of Berry phases in optical Möbius-strip microcavities // **Nature Photonics**. 2023. № 17. P. 120–125.
2. Chen Y., Hou J., Zhao G. et al. Topological resonances in a Möbius ring resonator // **Communications Physics**. 2023. №. 6. P. 84
3. COMSOL Multiphysics. Wave Optics Module User's Guide. Version 6.1. Stockholm: COMSOL AB, 2022. 345 p.