

ОБНАРУЖЕНИЕ СВЯЗАННЫХ СОСТОЯНИЙ В КОНТИНУУМЕ В НЕУПОРЯДОЧЕННЫХ СТРУКТУРАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Семусhev К.В.¹, Порватов В.А.², Назаров Р.Х.¹, Власов Н.А.¹

Научные руководители – к.ф.-м.н. Кондратенко З.Ф.¹, к.ф.-м.н. Маслова Е.Э.¹

¹Университет ИТМО

²Сколковский институт науки и технологий, Сколтех

kliment.semushev@metalab.ifmo.ru

Введение

Связанные состояния в континууме (ССК) известны как локализованные состояния с энергией в непрерывном спектре и представляют особый интерес для применений в оптике [1]. Хорошо изучен механизм формирования защищенных симметрией ССК [1,2], обладающих бесконечной добротностью. Однако нарушение симметрии в эксперименте неизбежно, а оно превращает ССК в резонансные состояния, образованные по механизму ССК (квази-ССК) [2]. В частности, изготовление наноструктур сопровождается внесением беспорядка, изучение которого зачастую оказывается трудоемким. Полноволновое моделирование неупорядоченных структур требует расчёта больших суперячеек и усреднения по реализациям беспорядка, что делает прямой численный анализ вычислительно затратным.

Основная часть

В данной работе мы количественно оцениваем, как внесение геометрических дефектов нарушает ССК, и предлагаем методику с применением нейронных сетей [3] для анализа устойчивости ССК в различных геометриях диэлектрических элементарных ячеек. Мы рассматриваем два доминирующих класса дефектов: (i) позиционный беспорядок, задаваемый случайными смещениями метаатомов в плоскости, и (ii) беспорядок формы, моделируемый отклонениями критических геометрических параметров от их исходных значений. Методом мультипольного разложения мы показываем, что эти типы беспорядка открывают различные каналы излучения и приводят к различным степенным зависимостям добротности от амплитуды беспорядка (обратная линейная, обратная квадратичная). Для эффективного исследования добротностей мы обучаем нейронные сети на наборах данных численного моделирования и используем их в качестве быстрых предикторов зависимости добротности от амплитуды беспорядка.

Выводы

Предложенный подход, сочетающий численное моделирование и машинное обучение, может быть использован для проектирования устойчивых к дефектам высокодобротных резонаторов. Они могут быть применены в лазерной генерации с узкой шириной спектральной линии, датчиках показателя преломления и нелинейной оптике. В дальнейшем планируется адаптировать предложенную методику к конкретным технологиям изготовления метаповерхностей.

Литература

1. C. W. Hsu, B. Zhen, A. D. Stone, J. D. Joannopoulos, M. Soljačić, Nat. Rev. Mater. 1, 16048 (2016)

2. Z. F. Sadrieva, I. S. Sinev, K. L. Koshelev, A. Samusev, I. V. Iorsh, O. Takayama, R. Malureanu, A. A. Bogdanov, A. V. Lavrinenko, *ACS Photonics* 4, 723 (2017)
3. W. Ma, Z. Liu, Z. A. Kudyshev, A. Boltasseva, W. Cai, Y. Liu, *Nat. Photonics* 15, 77 (2021)