

УДК 535.44

## УПРАВЛЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫМ И УГЛОВЫМ ПОЛОЖЕНИЕМ СВЯЗАННЫХ СОСТОЯНИЙ В КОНТИНУУМЕ В ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МЕТАПОВЕРХНОСТЯХ С НАРУШЕННОЙ СИММЕТРИЕЙ

Шалев А.Н. (ИТМО), Лобанов И.С. (ИТМО), Богданов А.А. (ИТМО)

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук, научный сотрудник физико-технического факультета Лобанов И.С. (ИТМО)

**Введение.** Теоретически предсказанные еще в начале прошлого века оптически неактивные резонансы, называемые связанными состояниями в континууме (ССК) [1], позволяют локализовать электромагнитное поле внутри резонансной структуры. Добротность таких состояний теоретически не ограничена, однако в реальных структурах наблюдаются квази-ССК - резонансные состояния с высокой, но конечной добротностью. Квази-ССК могут наблюдаться в двумерных периодических массивах плазмонных или диэлектрических частиц - метаповерхностях, а также в планарных фотонных структурах [2-4]. Возникновение ССК в центре зоны Бриллюэна связано с симметрией структуры, а при ненулевом блоховском волновом векторе - с подстройкой параметров системы, например изменением периода решетки. Возникновение и устойчивость ССК характерна для структур с высокой симметрией [5], создание которых на практике не всегда возможно в силу технологических ограничений. В данной работе мы предлагаем подходы к прогнозированию эволюции ССК при контролируемом разрушении симметрии структуры.

**Основная часть.** В рамках работы была модифицирована программа с открытым исходным кодом SMUTHI [6] для возможности расчета двумерной периодической структуры в условиях нарушенной зеркальной симметрии. Была использована модель мультипольной решетки, в которой нами ранее был продемонстрирован эффект углового закрепления незащищенных симметрией ССК [7]. Модель мультипольной решетки подразумевает представление диаграммы направленности рассеивателя в элементарной ячейке в виде одиночного мультиполя – электромагнитной моды определенного порядка [8]. В основе работы программы используется метод T-матриц. Так как T-матрица одиночного рассеивателя определяет связь между падающим и рассеянным полем данного рассеивателя, путем обнуления определенных элементов матрицы и ее последующим поворотом можно добиться нарушения зеркальной симметрии для мультипольной решетки.

На основе полученной модели была проанализирована эволюция защищенных симметрией и незащищенных симметрией ССК при контролируемом повороте рассеивателя в элементарной ячейке. При определенном угле поворота мультиполя наблюдается пересечение защищенных и незащищенных симметрией ССК с разными топологическими зарядами, что приводит к возникновению гибридного ССК. В качестве реальной структуры предлагается среда из проводников конечной длины.

**Выводы.** В данной работе была модифицирована программа с открытым исходным кодом для возможности расчета структур с нарушенной зеркальной симметрией. В результате численного расчета было продемонстрировано появление гибридных ССК.

### Список использованных источников:

1. von Neuman, J., & Wigner, E. (1929). Uber merkwürdige diskrete Eigenwerte. Uber das Verhalten von Eigenwerten bei adiabatischen Prozessen. Physikalische Zeitschrift, 30, 467–470. Retrieved from <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1929PhyZ...30..467V/abstract>
2. Koshelev, Kirill & Bogdanov, Andrey & Kivshar, Yuri. (2018). Meta-optics and bound states in the continuum. Science Bulletin. 64. 10.1016/j.scib.2018.12.003

3. Inoue, M., Ohtaka, K., & Yanagawa, S. (1982). Light scattering from macroscopic spherical bodies. II. Reflectivity of light and electromagnetic localized state in a periodic monolayer of dielectric spheres. *Phys. Rev. B*, 25(2), 689–699. doi: 10.1103/PhysRevB.25.689
4. Paddon, P., & Young, J. F. (2000). Two-dimensional vector-coupled-mode theory for textured planar waveguides. *Phys. Rev. B*, 61(3), 2090–2101. doi: 10.1103/PhysRevB.61.2090
5. Hsu, C., Zhen, B., Lee, J. *et al.* Observation of trapped light within the radiation continuum. *Nature* 499, 188–191 (2013). <https://doi.org/10.1038/nature12289>
6. Amos Egel, Krzysztof M Czajkowski, Dominik Theobald, Konstantin Ladutenko, Alexey S Kuznetsov, Lorenzo Pattelli: “SMUTHI: A python package for the simulation of light scattering by multiple particles near or between planar interfaces”, *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 273, 2021, 107846, DOI: 10.1016/j.jqsrt.2021.107846
7. Gladyshev, S., Shalev, A., Frizyuk, K., Ladutenko, K., & Bogdanov, A. (2022). Bound states in the continuum in multipolar lattices. *Phys. Rev. B*, 105(24), L241301. doi: 10.1103/PhysRevB.105.L241301
8. Bohren, C.F. and Huffman, D.R. (2008) *Absorption and Scattering of Light by Small Particles*. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ.