

УДК 534-16

СВЯЗАННЫЕ СОСТОЯНИЯ В КОНТИНУУМЕ В КОМПАКТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ РЕЗОНАТОРАХ.

Дерий И. А. (Университет ИТМО)

Научный руководитель — к.ф.-м.н., доцент, Богданов А. А. (Университет ИТМО)

Связанные состояния в континууме (ССК) - это не излучающие собственные моды открытой системы, собственные значения которых находятся в спектре излучающих мод свободного пространства, таким образом излучательная добротность ССК обращается в бесконечность. Обычно ССК анализируется в системах бесконечно протяженных в одном или двух направлениях. В системах конечного размера существование ССК запрещено. Однако теорема, в которой делается это утверждение доказана только для электродинамике и квантовой механики, но не для акустических систем. Оказывается, благодаря тому что поляризации полей смещения в твердых телах и жидкостях различны, в акустике возможно существование ССК в компактных резонансных системах.

Введение. В 1929 году Джон фон Нейман и Юджин Вигнер показали, что в сферически-симметрично потенциальной яме, потенциал которой асимптотически стремится к нулю вдали от ее центра, могут существовать локализованные состояния с положительной энергией [1]. Позже было показано что такие состояния могут существовать также в акустике [2] и фотонике [3], [4]. Однако, как в фотонике, так и в акустике и в квантовой механике, ССК рассматриваются в бесконечно протяженных системах, несмотря на то, что на практике мы всегда имеем дело с образцами конечного размера. Известно, что существование ССК в структурах конечного размера запрещено теоремой о несуществовании [3]. Однако, если все вышесказанное верно для фотоники и квантовой механики, то в акустике ситуация немного иная.

Рассмотрим твердый акустический резонатор, окруженный газом или вязкой жидкостью. В то время как твердые тела поддерживают и продольные и поперечные акустические колебания, колебания в жидкостях - чисто продольные. Следовательно, можно ожидать, что чисто поперечные колебания в резонаторе будут полностью отделены от продольных волн в окружающей среде, образуя таким образом ССК. Описанные выше состояния открывают новые возможности для создания акустических высокодобротных резонаторов, с добротностью, ограниченной только потерями в материале.

Основная часть. В нашей работе мы показали существование связанных состояний в континууме в компактных акустических резонаторах, как аналитическими, так и численными методами.

Было показано, что резонатор должен иметь вращательную симметрию хотя бы по одной оси, чтобы поддерживать такие ССК. Поэтому, эти состояния можно найти не только в таких высокосимметричных объектах, как сфера, но и в любом теле вращения, например в цилиндре, полусфере или торе, что позволит более гибко использовать предлагаемые состояния с большим числом приложений.

С помощью теоретико-группового подхода и численных методов показано, что введение асимметрии приводит к трансформации связанных состояний в континууме в квазисвязанные состояния в континууме, взаимодействующие с распространяющимися модами свободного пространства. Такие квази-ССК проявляют себя в спектрах рассеяния как высокодобротные фано-резонансы

Хотя настоящие БИК не могут быть возбуждены дальним полем (падающей акустической волной), было показано, что эти состояния могут быть возбуждены механической силой,

приложенной к поверхности резонатора, или связывающим устройством, роль которого могут играть некоторые твердые тела, прикрепленный к резонатору (например, цилиндрический стержень).

Выводы. Выявлено, что компактные акустические резонаторы конечных размеров могут поддерживать настоящие связанные состояния в континууме (ССК), полностью локализованные внутри резонатора. Была выполнена классификация таких ССК в резонаторах различной формы. Было показано, как нарушение симметрии резонатора превращает ССК в квази-ССК, проявляющийся в спектрах рассеяния в виде высокодобротных резонансов Фано. Мы считаем, что обнаруженные новые состояния расширят пределы производительности акустических устройств и послужат основой для новых акустических датчиков, антенн и топологических акустических структур.

Список источников

[1] J von Neuman and E Wigner. On some peculiar discrete eigenvalues. *Phys. Z.*, 30:465, 1929.

[2] F Ursell. Trapping modes in the theory of surface waves. In *Proc. Camb. Phil. Soc*, volume 47, pages 347–358, 1951.

[3] Chia Wei Hsu, Bo Zhen, A Douglas Stone, John D Joannopoulos, and Marin Soljačić. Bound states in the continuum. *Nature Reviews Materials*, 1(9):1–13, 2016.

[4] Kirill Koshelev, Andrey Bogdanov, and Yuri Kivshar. Meta-optics and bound states in the continuum. *Science Bulletin*, 64(12):836–842, 2019.

Дерий И. А. (автор)

Подпись

Богданов А. А. (научный руководитель)

Подпись