

Параметрическая неустойчивость и жёсткий режим возбуждения в оптомеханических системах с сильной фотон-фононной связью

А. Мухамедянов¹, А.А. Зябловский^{1,2}, Е.С. Андрианов^{1,2,*}

¹ Московский Физико-Технический Институт

² Всероссийский Научно-Исследовательский Институт Автоматики им. Н.Л. Духова

* E-mail: andrianov.es@mipt.ru

DOI:10.31868/RFL.2024.143-144

Оптомеханические системы, сочетающие оптические и механические степени свободы, активно исследуются в последнее время [1]. Взаимодействие света с механическими модами позволяет реализовать новые типы устройств, например, фононные лазеры [2]. Как и в лазерах, генерация когерентных фотонов и фононов в таких устройствах происходит при превышении скорости накачки порогового значения. После порога интенсивность излучения возрастает с увеличением скорости накачки гораздо сильнее, чем до порога. Недавно было продемонстрировано, что в оптомеханических системах также могут быть реализованы исключительные точки (exceptional points) [3]. Исключительные точки являются особенностью в пространстве собственных состояний системы [4]. При параметрах, соответствующих исключительной точке, два или более собственных состояний системы становятся линейно зависимыми и их собственные частоты совпадают. Прохождение через исключительную точку часто приводит к качественному изменению поведения системы, что связано с неэрмитовым фазовым переходом. Например, прохождение через исключительную точку сопровождается спонтанным нарушением симметрии в собственных состояниях РТ-симметричных систем. Уникальные свойства этих систем, обусловленные исключительными точками, используются для повышения чувствительности датчиков [5] и лазерных гироскопов [6], для селекции мод в многомодовых лазерах [7] и для достижения лазерной генерации без инверсии [8].

В докладе будет рассмотрена оптомеханическая система из двух оптических мод, взаимодействующих друг с другом через фононную моду. Оптическая мода с большей частотой возбуждается внешней электромагнитной волной. Существует пороговое значение амплитуды внешней волны, выше которого происходит одновременная генерация фотонов и фононов. Будут определены условия, при которых существует исключительная точка в такой оптомеханической системе. Будет рассмотрен подход для достижения когерентной генерации ниже порога оптомеханической неустойчивости [9]. Этот подход основан на периодической модуляции амплитуды внешней волны вблизи исключительной точки. Предлагается путь создания оптических и фононных транзисторов на основе оптомеханических систем с исключительной точкой.

Также будет показано, что в такой системе может иметь место жесткий режим возбуждения фононного лазера [10]. Будут получены условия реализации жесткого режима возбуждения, получены выражения для порога генерации и лазерных кривых как для мягкого, так и для жесткого режима возбуждения. Будет показано, что жесткое возбуждение в оптомеханической системе связано с фазовым условием существования ненулевого решения. Этот механизм отличается от механизмов, известных для обычных лазеров. Резкое изменение интенсивности лазерного излучения вблизи порога может быть использовано для создания

высококчувствительных сенсоров [12, 13], оптических транзисторов [14, 15], сверхбыстрого оптического переключателя [16–18] и т. д.

Литература

- [1] T. J. Kippenberg and K. J. Vahala, *Opt. Express* **15**, 17172 (2007)
- [2] K. Vahala, M. Herrmann et al, *Nat. Phys.* **5**, 682 (2009)
- [3] H. Xu, D. Mason et al, *Nature* **537**, 80 (2016)
- [4] N. Moiseyev, *Non-Hermitian Quantum Mechanics* (Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2011)
- [5] W. Chen, Ş. Kaya Özdemir et al, *Nature* **548**, 192 (2017).
- [6] Y.-H. Lai, Y.-K. Lu et al, *Nature* **576**, 65 (2019)
- [7] L. Feng, Z. J. Wong et al, *Science* **346**, 972 (2014)
- [8] I. V. Doronin, A. A. Zyablovsky et al, *Phys. Rev. A* **100**, 021801(R)
- [9] A. Mukhamedyanov, A. A. Zyablovsky, E. S. Andrianov, *Opt. Lett.* **48**, 1822, (2023)
- [10] A. Mukhamedyanov, A. A. Zyablovsky, E. S. Andrianov, *Opt. Lett.* **49**, 782, (2024)