

Мультистабильные состояния света в нелинейных микросферических резонаторах

Е.А. Анашкина*, А.В. Андрианов

Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова РАН

*E-mail: elena.anashkina@gmail.com

DOI:10.31868/RFL.2024.85-86

Исследование эффектов на основе оптической бистабильности и мультистабильности представляет огромный интерес как для фундаментальных, так и для прикладных задач. Диэлектрические микрорезонаторы с огромными добротностями ($\sim 10^6$ - 10^9) являются одной из современных платформ, на основе которой можно создавать миниатюрные устройства, использующие бистабильные и мультистабильные состояния света, например, логические элементы, переключатели и др. Такие устройства, как правило, основаны на использовании керровской нелинейности. Однако в стеклянных микрорезонаторах может реализовываться широчайший спектр нелинейно-оптических процессов, основанных и на иных кубичных нелинейностях: рамановской, термо-оптической, акусто-оптической и др., которые тоже могут вносить вклад в формирование мультистабильных состояний, но исследованы гораздо меньше. В данном докладе представлены наши недавние теоретические и экспериментальные результаты по формированию бистабильных и мультистабильных состояний света в микросферических резонаторах с учетом разных типов кубичных нелинейностей.

В качестве одного из результатов рассмотрим двунаправленное распространение света в микросфере из кварцевого стекла с двухсторонними накачками с равными мощностями при учете только керровской нелинейности. Хорошо известно, что за счет фазовой само- и кросс-модуляции в системе может наблюдаться спонтанное нарушение симметрии при достижении пороговых значений мощностей и отстройки частоты накачки от точного резонанса [1]. При этом одна мода, выбор которой осуществляется случайным образом, имеет меньшую мощность, а мода, распространяющаяся в противоположную сторону, имеет большую мощность, чем для симметричных состояний, которые становятся неустойчивыми [1]. В отсутствие линейной связи между модами состояния системы не зависят от относительной фазы ψ между накачками. Однако мы обнаружили, что если в системе присутствует даже слабая линейная межмодовая связь, обусловленная рэлеевским рассеянием, то система теряет симметрию при всех относительных фазах, кроме 0 и π , и фаза кардинальным образом влияет на состояния системы. А именно, мы демонстрируем, что управление асимметричными состояниями света при двунаправленной накачке с одинаковыми мощностями в обоих направлениях осуществляется детерминированным образом посредством управления относительной фазой. Система уравнений на комплексные амплитуды мод A_1 и A_2 может быть записана в безразмерном виде:

$$\begin{aligned} dA_1/dt &= -A_1 - i\Delta A_1 + i|A_1|^2 A_1 + 2i|A_2|^2 A_1 + i\beta A_2 + X^{1/2} \\ dA_2/dt &= -A_2 - i\Delta A_2 + i|A_2|^2 A_2 + 2i|A_1|^2 A_2 + i\beta A_1 + X^{1/2} e^{i\psi}, \end{aligned}$$

где t – медленное время, слагаемые $-A_{1,2}$ описывают потери, Δ – отстройка накачки от точного резонанса, слагаемые $i|A_{1,2}|^2 A_{1,2}$ и $2i|A_{2,1}|^2 A_{1,2}$ описывают керровскую фазовую самомодуляцию и кросс-модуляцию соответственно, β – коэффициент рэлеевской связи, X – мощность накачки. Все состояния равновесия могут быть

найжены путем нахождения решений системы уравнений при $d/dt = 0$. В системе наблюдается мультстабильность: при одном и том же значении Δ может существовать несколько устойчивых решений с разными интенсивностями. В зависимости от начальных условий может реализовываться та или иная ветвь. Мы также провели моделирование динамической задачи при медленном изменении Δ от меньших значений к большим. На Рис. 1(а)-(з) пунктиром показаны все теоретически найденные состояния равновесия системы, а сплошной линией показаны решения, найденные при моделировании динамической задачи, совпадающие при прохождении соответствующих веток. Также выполнены экспериментальные измерения в соответствии с упрощенной схемой (см. Рис. 1(и)). Для каждого установленного значения ψ производилось сканирование частоты лазера накачки (монотонно связанного с Δ). На Рис. 1(к) показаны результаты экспериментальных измерений, демонстрирующие, что при $-\pi < \psi < 0$ мощность в моде A_1 больше, в то время как при $0 < \psi < \pi$ мощность в моде A_2 больше, что хорошо соответствует результатам моделирования, представленным на Рис. 1(л). При этом максимальное отношение мощностей достигает 20 дБ.

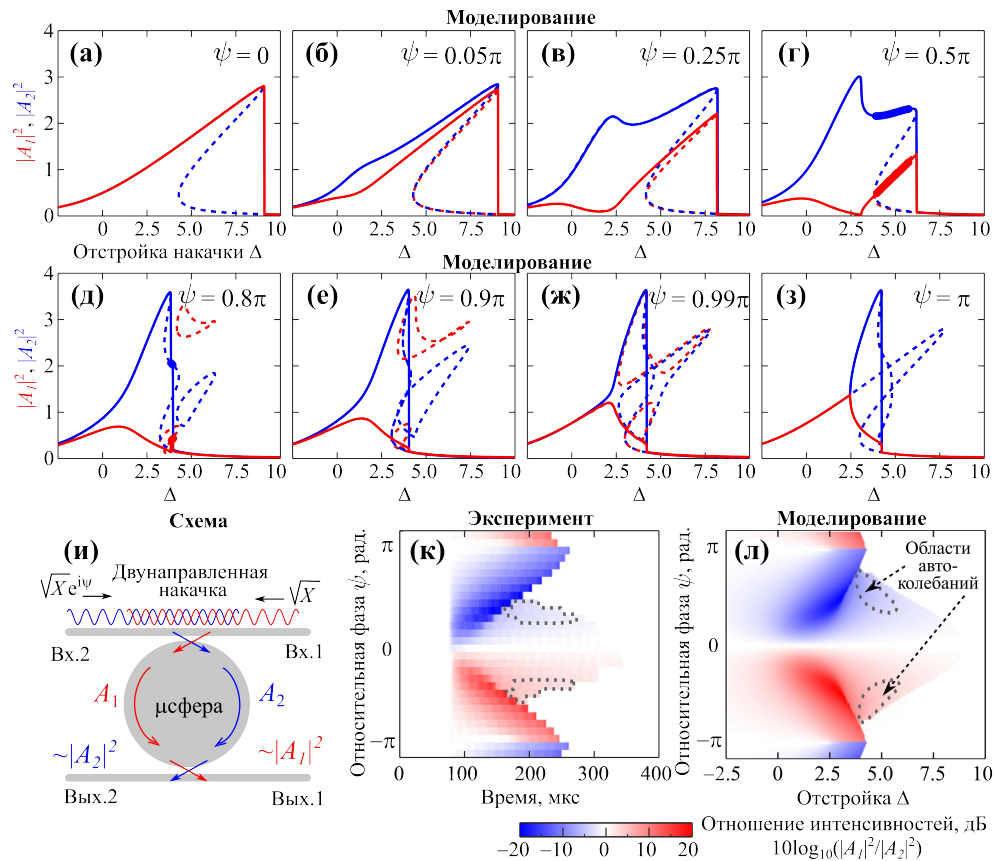


Рис. 1. (а)-(з) Стационарные решения $|A_{1,2}|^2$ (пунктирные линии) и реализации состояний при медленном сканировании Δ (сплошные линии) при $X = 2.8$, $\beta = 0.65$ при различных ψ . (и) Упрощенная схема. (к) Экспериментально измеренное отношение мощностей в модах A_1 и A_2 при сканировании частоты лазера накачки для различных ψ и (л) результат соответствующего моделирования.

Работа поддержана Российским научным фондом, грант № 20-72-10188-П.

Литература

- [1] L. Del Bino, J. M. Silver et al., *Sci. Rep.* **7**, 43142 (2017)