

## СПОНТАННОЕ НАРУШЕНИЕ СИММЕТРИИ И ВОЗНИКНОВЕНИЕ ОСЦИЛЛИРУЮЩИХ РЕЖИМОВ В СИСТЕМАХ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ АКТИВНЫХ РЕЗОНАТОРОВ

✉ Д. А. Долинина, А. В. Юлин

*Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия*

✉ d.dolinina@metalab.ifmo.ru

Эффект спонтанного нарушения симметрии был обнаружен во множестве оптических нелинейных систем, в частности в системах двух или трех связанных нелинейных волноводов или резонаторов [1, 2]. Продемонстрировано, что консервативные системы трех идентичных нелинейных резонаторов [3] или двух нелинейных и одного линейного [4] способны проявлять мультистабильность, связанную с возникновением асимметричных состояний.

Недавно было показано [5], что в диссипативной системе связанных нелинейных резонаторов также проявляется эффект спонтанного нарушения симметрии. Продемонстрировано появление стационарных асимметричных состояний из симметричных, однако динамические режимы практически не были рассмотрены. В настоящей работе описано возникновение осциллирующих режимов и их бифуркации.

Рассмотрим систему, состоящую из двух идентичных нелинейных резонаторов с линейной накачкой (микролазеры) и насыщающимися нелинейными (кубическими) потерями. Также предполагается, что активные резонаторы обладают консервативной нелинейностью, что делает их резонансную частоту зависимой от интенсивности поля внутри резонаторов. Активные резонаторы не влияют друг на друга напрямую, но каждый из них взаимодействует с третьим резонатором, помещенным между ними (вставка на рис. 1, а). Третий резонатор линейен, имеет собственные внутренние потери, и его резонансная частота отстроена от резонансной частоты активных резонаторов. Далее для краткости мы будем называть такую систему «тример».

Математически тример может быть описан в приближении медленно меняющихся амплитуд для левого ( $B$ ), среднего ( $A$ ), и правого ( $C$ ) резонаторов следующим образом:

$$\partial_t B = \Gamma B - \beta |B|^2 B + i\alpha |B|^2 B + i\delta B + i\sigma A, \quad (1a)$$

$$\partial_t C = \Gamma C - \beta |C|^2 C + i\alpha |C|^2 C + i\delta C + i\sigma A, \quad (1b)$$

$$\partial_t A = -\gamma A + i\sigma(B+C), \quad (1c)$$

где  $B$ ,  $C$ ,  $A$  — медленно меняющиеся комплексные амплитуды полей в соответствующих резонаторах;  $\gamma$  — потери линейного (центрального) резонатора;  $\Gamma$  — линейная накачка левого и правого активного резонатора;  $\beta$  характеризует нелинейные потери;  $\alpha$  — коэффициент кубической консервативной нелинейности;  $\delta$  — отстройка резонансной частоты активных резонаторов от линейного резонатора;  $\sigma$  — коэффициент связи между соседними резонаторами.

В такой системе может существовать три типа стационарных состояний: антисимметричные, характеризующиеся одинаковыми по модулю, но находящимися в противофазе амплитудами полей в нелинейных резонаторах ( $B = -C$ ,  $A = 0$ ); симметричные с одинаковыми

амплитудами полей в активных резонаторах ( $B = C$ ,  $A \neq 0$ ); асимметричные (или гибридные), при которых во всех трех резонаторах разные по модулю амплитуды полей ( $|B| \neq |C|$ ,  $A \neq 0$ ). Гибридные состояния формируются в результате бифуркации спонтанного нарушения симметричного или антисимметричного состояния. На рис. 1, *a* представлена бифуркационная диаграмма всех стационарных состояний в зависимости от накачки.

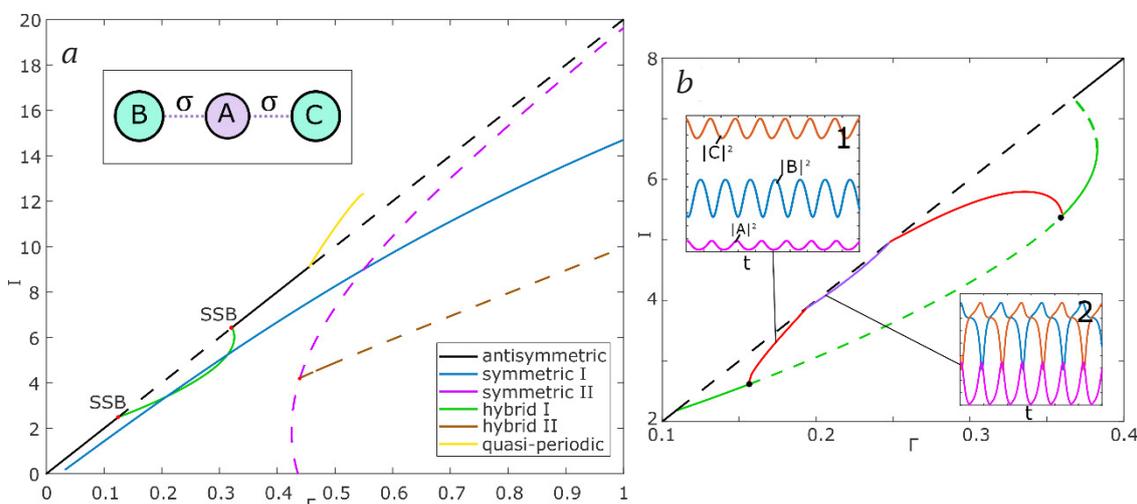


Рис. 1. *a* — бифуркационная диаграмма, показывающая зависимость интенсивности поля в активных резонаторах  $I = |B|^2 + |C|^2$  стационарных состояний от накачки (пунктиром показаны динамически неустойчивые состояния; вставка демонстрирует схематический вид системы; параметры:  $\alpha = 0,5$ ;  $\sigma = 1$ ;  $\beta = 0,1$ ;  $\gamma = 0,1$ ;  $\delta = -2,25$ ); *b* — бифуркационная диаграмма гибридного состояния (зеленая кривая) при  $\delta = -2,4$  с максимумами интенсивностей предельных циклов (красная и фиолетовая линии для разных типов колебаний)

Асимметричное состояние может претерпеть суперкритическую бифуркацию Хопфа и превратиться в осциллирующее состояние, которое характеризуется периодическими осцилляциями интенсивностей поля в резонаторах. И поскольку оно отщепляется от состояния с нарушенной симметрией, амплитуды колебаний в активных резонаторах отличаются (вставка 1 на рис. 1, *b*). В системе также возможна дополнительная бифуркация, которая превращает такое осциллирующее состояние с нарушенной симметрией в состояние, при котором колебания в обоих активных резонаторах становятся одинаковыми по амплитуде (вставка 2 на рис. 1, *b*).

Данные эффекты могут представлять интерес с точки зрения разработки динамически реконфигурируемых микролазеров и найти свое применение в сферах генерации когерентного излучения и оптических переключателей [6].

## Список литературы

1. Bernstein L. J. // Opt. Commun. 1992. Vol. 94. P. 406.
2. Molina M. et al. // Phys. D: Nonlinear Phenomena. 1993. Vol. 66. P. 135.
3. Schmidt-Hattenberger C. et al. // Opt. Quantum Electron. 1992. Vol. 24. P. 691.
4. Deering W. et al. // Appl. Phys. Lett. 1993. Vol. 62. P. 2471.
5. Dolinina D., Yulin A. // Phys. Rev. E. 2022. Vol. 105, № 3. P. 034203.
6. Menezes J. et al. // Opt. Quantum Electron. 2007. Vol. 39. P. 1191.