

## 1.1. Генерация дуальных солитон-комбов в $\chi^{(2)}$ микрорезонаторах

### Generation of dual soliton-comb states in $\chi^{(2)}$ microresonators

Авторы: Б. Стурман<sup>1</sup>, Е. Подвиллов<sup>1</sup>, С. Смирнов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт автоматизации и электрометрии СО РАН (ИАиЭ СО РАН, г. Новосибирск)

<sup>2</sup>Новосибирский государственный университет (НГУ)

Authors: B. Sturman<sup>1</sup>, E. Podivilov<sup>1</sup>, S. Smirnov<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Institute of Automation and Electrometry, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch, Novosibirsk (IA&E SB RAS, Novosibirsk)

<sup>2</sup>Novosibirsk State University (NSU, Novosibirsk)

Показано аналитически и численно, что монохроматическая накачка высокодобротных микрорезонаторов с квадратичной нелинейностью может приводить к эффективной генерации пространственно узких диссипативных солитонов и связанных с ними широких частотных комбов (гребёнок) [1-10]. Каждый солитон (комб) дуален – состоит из компонент, относящихся к 1-й и 2-й гармоникам, связанным условием синхронизма (рис. 1.2 и 1.3). Найденные нелинейные состояния не только локально устойчивы, но и реализуемы при не резком включении накачки и выполнении условий: а) накачка во 2-ю гармонику; б) групповые скорости 1-й и 2-й гармоник близки между собой (для  $\text{LiNbO}_3$  резонаторов это соответствует длине волны накачки 1349 nm); в) знаки дисперсий для 1-й и 2-й гармоник противоположны (выполняется для  $\text{LiNbO}_3$ ). Найденные солитонные решения многопараметрические – допускающие перестройку варьируемых параметров. Они относятся к двум качественно различным (топологическим) типам солитонов – периодическим и антипериодическим. Полученные результаты прорывные, не имеющие аналогов в литературе.

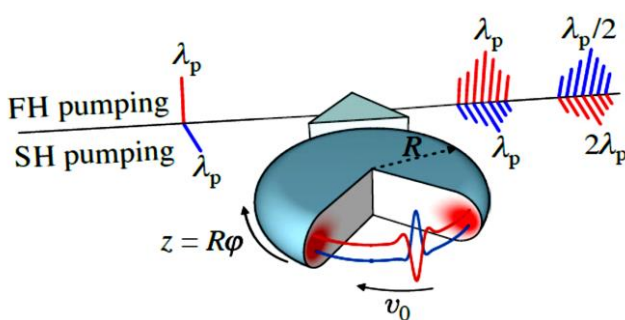


Рис. 1.2. Принципиальная схема генерации дуальных комбов-солитонов;  $R$  - главный радиус,  $\varphi$  - азимутальный угол

Fig. 1.2. Principle scheme for the generation of dual soliton-comb states;  $R$  is the major radius and  $\varphi$  is the azimuth angle

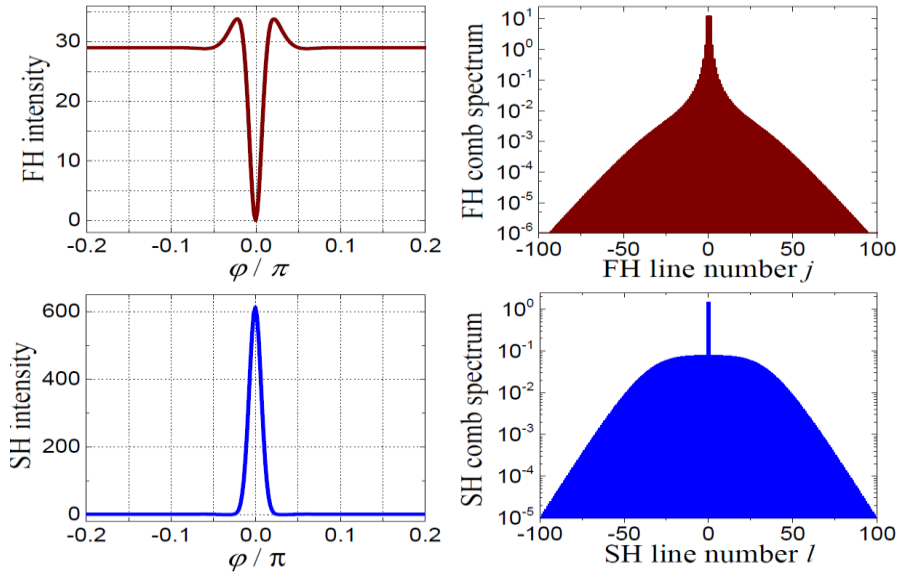


Рис. 1.3. Пример дуальных комбов-солитонов

Fig. 1.3. An example of dual soliton-comb states

It is shown analytically and numerically that monochromatic pumping of high-Q microresonators with quadratic nonlinearity can result in an efficient generation of spatially narrow dissipative solitons and the corresponding broad frequency combs [1-10]. Each soliton (comb) is dual – it consists of components related to the first and second harmonics (FH and SH) linked to each other via the relevant phase-matching conditions, see Figs. 1.2 and 1.3. The found nonlinear states are not only locally stable but also self-starting – they can be accessed at not very abrupt switching the pump on and fulfillment of the following conditions: a) Pumping into the SH modes; b) Mutual proximity of FH and SH group velocities (for  $\text{LiNbO}_3$  based resonators it corresponds to the pump wavelength  $\approx 1349$  nm); The signs of the FH and SH dispersion coefficients are opposite (fulfilled for  $\text{LiNbO}_3$  based resonators). The found soliton solutions are multiparametric, i.e. allowing adjustment of the variable parameters of the system. They are relevant to two qualitatively different (topological) types of solitons – periodic and antiperiodic. The results obtained are of breakthrough kind, they have no analogies in the literature.

### Публикации/References:

1. Nonlinear solutions for  $\chi^{(2)}$  frequency combs in optical microresonators / Podivilov E.V., Smirnov S.V., Breunig I., Sturman B. I. // Physical review A. – 2020. – Vol. 101, is. 2. – P. 023815 (10 p.). – DOI 10.1103/PhysRevA.101.023815.

2. Walk-off controlled self-starting frequency combs in  $X^{(2)}$  optical microresonators / Smirnov S., Sturman B.I., Podivilov E.V., Breunig I. // Optics express. – 2020. – Vol. 28, is. 12. – P. 18006–18017. – DOI 10.1364/OE.395360.
3. Frequency comb solutions for driven  $x^{(2)}$  optical microresonators / Podivilov E.V., Sturman B.I., Breunig I. // Journal of the Optical Society of America B. – 2020. – Vol. 37, is. 11. – P. 3316–3324. – DOI 10.1364/JOSAB.402007.
4. Frequency comb generation threshold via second-harmonic excitation in  $x^{(2)}$  optical microresonators / Szabados J., Sturman B.I., Breunig I. // APL Photonics. – 2020. – Vol. 5, is. 11. – P. 116102 (7 p.). – DOI 10.1063/5.0021424.
5. Fine structure of second-harmonic resonances in  $\chi^{(2)}$  optical microresonators / Szabados J., Amiune N., Sturman B.I., Breunig I. // Optics Express. – 2021. – Vol. 29, iss. 9. – P. 13925–13936. – DOI 10.1364/OE.424617.
6. Soliton based  $\chi^{(2)}$  combs in high-Q optical microresonators / Smirnov S., Andryushkov V., Podivilov E.V., Sturman B.I., Breunig I. // Optics express. – 2021. – Vol. 29, is. 17. – P. 27434–27449. – DOI 10.1364/OE.432529.
7. Frequency combs in  $\chi^{(2)}$  microresonators: An overview of theoretical predictions (invited) / Sturman B., Podivilov E., and Smirnov S. // Online conference and doctoral school “CHI-2 photonics in microresonators and beyond” (April 13–14, 2021). <https://www.microcomb-eu.org/chi-2-photonics-videos>.
8. Dual backgrounds and their stability during frequency comb and second harmonic generation in  $\chi^{(2)}$  microresonators / B. Sturman, E. Podivilov, J. Szabados, I. Breunig // Journal of the Optical Society of America B: Optical Physics. – 2022. – V.39. – №1. – P.378-387. – DOI 10.1364/JOSAB.443722.
9. Adiabatic growing, multistability, and control of soliton-comb states in  $\chi^{(2)}$  microresonators for pumping into second-harmonic modes / E. Podivilov, S. Smirnov, B. Sturman // Письма в ЖЭТФ – 2022. – V. 115. – №9-10(5). – P. 601-602. DOI 10.1134/S0021364022100435.
10. Effects of dispersion and pumping scheme on soliton-comb regimes in  $\chi^{(2)}$  microresonators / S. Smirnov, E. Podivilov, B. Sturman // J. Opt. Soc. Am. B **40**, 516-522 (в печати); [doi.org/10.1364/JOSAB.481257](https://doi.org/10.1364/JOSAB.481257)