© Веретенов Н.А., Розанов Н.Н., Федоров С.В., 2019, Океанологические исследования, 2019, Том 47, № 1, С. 27–29

УДК 537.87 DOI: 10.29006/1564-2291.JOR-2019.47(1).7

# НЕОБРАТИМЫЙ ГИСТЕРЕЗИС ТРЕХМЕРНЫХ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ ЗАПУТАННЫХ ЛАЗЕРНЫХ СОЛИТОНОВ

**Веретенов Н.А.[1,2], Розанов Н.Н.[1-3], Федоров С.В.[1,2]**

[1] *ГОИ им. С.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Кадетская линия, 5, корп. 2 199034, Россия*
[2] *Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Кронверкский пр-кт, 49 197101, Россия*
[3] *ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 26 194021, Россия, e-mail: nnrosanov@mail.ru*
Статья поступила в редакцию 25.12.2018, одобрена к печати 30.01.2019

В лазерной среде с насыщающимися усилением и поглощением или же в лазере с такой средой и достаточно большой длиной резонатора авторами ранее продемонстрирован класс диссипативных трехмерных топологических солитонов (Veretenov et al., 2016, 2017). Такие солитоны обладают «скелетами» – набором нескольких замкнутых и незамкнутых вихревых линий, на которых поле обращается в 0, а фаза при обходе которых получает приращение, кратное $2\pi$. Существенно, что области параметров схемы, в которых различные типы топологических солитонов существуют и устойчивы, перекрываются. Соответственно возникает вопрос о характере изменения структуры солитонов и их скелетов при медленном изменении параметров. Ответ на этот вопрос в основном в рамках численного моделирования и служит предметом настоящего доклада.

Исходным уравнением служит обобщенное комплексное уравнение Гинзбурга-Ландау для медленно меняющейся огибающей поля, причем эволюционной переменной служит продольная координата вдоль трассы преимущественного распространения $z$ (Veretenov et al., 2017). Контрольным параметром служит коэффициент линейного (ненасыщенного) усиления поля $g_0$. Начальное значение этого параметра отвечает центральной части области устойчивости исходного солитона (для определенности – «соломонова солитона»). Затем $g_0$ медленно возрастает, пересекая границу устойчивости, после чего стабилизируется и медленно убывает, возвращаясь в конце концов к исходному значению.

Мы демонстрируем, что в результате такого гистерезисного цикла солитон не возвращается к исходному – его структура кардинально упрощается. Это выражается в уменьшении значений различных топологических индексов, а также в уменьшении энергии поля и увеличении энергии активной среды (за вычетом ее постоянного фона). На стадии уменьшения $g_0$ топологические характеристики не меняются (два «солитона-яблока»). Переходный процесс включает серию элементарных реакций перезамыкания вихревых линий и отрыва замкнутых петель после сильного изгиба родительской вихревой линии. Кроме того, в течение переходного процесса возникает ряд новых метастабильных типов локализованных топологических структур.

Аналитическая часть исследования выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований президиума РАН «Нелинейная динамика: фундаментальные проблемы и приложения». Численное моделирование проводилось при поддержке гранта РНФ 18-12-00075.

**Ключевые слова:** трехмерные топологические диссипативные солитоны, лазеры, гистерезис

**Литература**

*Veretenov N.A., Rosanov N.N., Fedorov S.V.* Rotating and Precessing Dissipative-Optical-Topological-3D Solitons // Physical Review Letters. 2016. Vol. 117. P. 183901.

*Veretenov N.A., Fedorov S.V., Rosanov N.N.* Topological Vortex and Knotted Dissipative Optical 3D Solitons Generated by 2D Vortex Solitons // Physical Review Letters. 2017. Vol. 119. P. 263901.

## IRREVERSIBLE HYSTERESIS OF 3D-TOPOLOGICAL TANGLE LASER SOLITONS

**Veretenov N.A.[1,2], Rosaov N.N.[1-3], Fedorov S.V.[1,2]**

[1]*State Optical Institute, Saint Petersburg, 199034, Russia*
[2]*ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russia*
[3]*Ioffe Institute RAS, Saint Petersburg, 194021, Russia*
*e-mail: nnrosanov@mail.ru*
Submitted 25.12.2018, accepted 30.01.2019

In a laser medium with saturable amplification and absorption or in a laser with such a medium and a sufficiently large cavity length, the authors previously demonstrated a class of dissipative three-dimensional topological solitons (Veretenov et al., 2016, 2017). Such solitons have “skeletons” – a set of several closed and unclosed vortex lines, on which the field turns to 0 and the phase of which bypass is incremented by a multiple of 2π. It is significant that the regions of the scheme parameters in which different types of topological solitons exist and are stable, overlap. Accordingly, the question arises about the nature of changes in the structure of solitons and their skeletons with a slow change in the parameters. The answer to this question, mainly in the framework of numerical modeling, is the subject of this report.

The initial equation is the generalized Ginzburg-Landau complex equation for a slowly varying envelope of the field, with the longitudinal coordinate along the path of preferential propagation $z$ (Veretenov et al., 2017) serving as an evolution variable. The control parameter is the coefficient of linear (unsaturated) field gain $g_0$. The initial value of this parameter corresponds to the central part of the stability region of the original soliton (for definiteness, the “Solomon soliton”). Then $g_0$ slowly increases, crossing the stability boundary, after which it stabilizes and slowly decreases, eventually returning to its original value.

We demonstrate that as a result of such a hysteresis cycle, the soliton does not return to the initial one — its structure is drastically simplified. This is reflected in a decrease in the values of various topological indices, as well as in a decrease in the field energy and an increase in the energy of the active medium (minus its constant background). At the $g_0$ reduction stage, the topological characteristics do not change (two "soliton-apples"). The transient process includes a series of elementary reactions of reconnection of the vortex lines and detachment of closed loops after a strong bend of the "parent" vortex line. In addition, during the transition process, a number of new types of localized topological metastable structures arise.

The analytical part of the research was supported by the RAS Presidium Program "Nonlinear Dynamics: Fundamental Problems and Applications". Numerical modeling was carried out with the support of the grant of the RNF 18-12-00075.

**Keywords:** three-dimensional topological dissipative solitons, lasers, hysteresis

## References

*Veretenov N.A., Rosanov N.N., and Fedorov S.V.* Rotating and Precessing Dissipative-Optical-Topological-3D Solitons. *Physical Review Letters*, 2016, Vol. 117, pp. 183901.

*Veretenov N.A., Fedorov S.V., and Rosanov N.N.* Topological Vortex and Knotted Dissipative Optical 3D Solitons Generated by 2D Vortex Solitons. *Physical Review Letters,* 2017, Vol. 119, pp. 263901.