



Топологические скалярные и векторные лазерные солитоны

академик РАН **Николай Николаевич Розанов**

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург

Диссипативные солитоны, первая публикация о которых появилась, по-видимому, в 1831 г. [1], представляют собой локализованные структуры, формирующиеся в нелинейных системах в условиях динамического баланса притока и оттока энергии (и/или материи). В отличие от консервативных солитонов в нелинейных средах без диссипации, такие солитоны являются аттракторами, они калиброваны и характеризуются жестким характером возбуждения и повышенной устойчивостью. В последнее время диссипативные солитоны наиболее интенсивно исследуются в нелинейнооптических и лазерных системах, что вызвано доступностью и удобством таких систем, их сравнительной простотой и потенциалом для информационных и иных приложений [2].

Новый и важный аспект приобретают диссипативные оптические солитоны с топологическими сингулярностями, сохраняющимися при плавных деформациях структуры поля и могущими служить для кодирования информации [3]. Для скалярных солитонов квазимонохроматического излучения с доминирующей единственной поляризационной составляющей поля изолированные сингулярности означают неопределенность фазы излучения, что имеет место при его нулевой интенсивности. В поперечном сечении системы это точки, характеризующиеся целым топологическим индексом (набег фазы при обходе сингулярности по замкнутому контуру, деленный на 2π); в объемной среде – вихревые линии с различной топологией. Для лазерных солитонов – солитонов в широкоапертурном лазере с насыщающимся поглощением – мы представляем обширный набор вариантов с замкнутыми и незамкнутыми, зацепленными и незацепленными, узловыми и безузловыми вихревыми линиями [2, 4].

Еще более разнообразна топология векторных диссипативных солитонов. Здесь в поперечном сечении системы к сингулярностям, отвечающим нулевой интенсивности излучения, добавляются С-точки с чисто круговой поляризацией (для них не определено направление главной оси эллипса поляризации) и L-линии с линейной поляризацией (не определено право- или левосторонней является поляризация). При пересечении L-линии правосторонняя поляризация превращается в левостороннюю и наоборот. В объемной среде С-точки образуют линии, а L-линии – поверхности. Мы приводим примеры лазерных солитонов с



различными типами поляризационных сингулярностей, характеризующихся полуцелыми или целыми индексами Пуанкаре – числом оборотов главной оси поляризационного эллипса при обходе точки сингулярности по замкнутому контуру в поперечном сечении схемы. Заслуживает внимания повышенная устойчивость векторных солитонов по сравнению со скалярными: они сохраняются даже в условиях неустойчивости скалярных структур.

Интересна механика «твердотельных» солитонных структур, для которых форма распределений интенсивности и поперечного потока энергии (вектора Пойнтинга) при эволюции только сдвигается или поворачивается как целое. Характер движения определяется симметрией указанных распределений, и источником движения служит их асимметрия. Для эффективно двумерных скалярных солитонных структур имеется два элемента симметрии: отражение от оси симметрии и поворот на угол $2\pi/N$ (N – целое число). В зависимости от наличия или отсутствия этих элементов «эйлерова механика» допускает 4 сценария движения: неподвижность, равномерное движение вдоль оси симметрии, вращение относительно неподвижного центра и «лунное движение» (энергетический центр движется по окружности, а сама структура разворачивается с тем же периодом); во всех случаях речь идет о поперечном движении. Для векторных (поляризационных) солитонных структур в изотропных средах возникает еще один элемент симметрии: перестановка поляризационных компонент между собой. Мы демонстрируем различные сценарии движения скалярных и векторных солитонных структур. В заключение обсуждается направление текущих и перспективных исследований лазерных солитонов.

Исследование векторных лазерных солитонов поддержано грантом РФФИ 18-12-00075.

1. Faraday M. On a peculiar class of acoustical figures; and on certain forms assumed by groups of particles upon vibrating elastic surfaces / M. Faraday // Philosophical Transactions of the Royal Society of London. 1831. V. 121. P. 299—340.
2. Розанов Н. Н. Диссипативные оптические и родственные солитоны / Н.Н. Розанов. М. : Физматгиз, 2021. 664 с.
3. Simon D. S. Topology in Optics: Tying Light in Knots / D.S. Simon. Bristol : IOP Publishing, 2021. 170 p.
4. Веретенев Н.А. Лазерные солитоны: топологические и квантовые эффекты / Н.А. Веретенев, Н.Н. Розанов, С.В. Федоров // УФН. 2022. Т. 192. С. 143—176.