

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ И ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛЯ ОПТИЧЕСКОГО ВИХРЯ

Алексеев А. Н., аспирант

В последнее время широкий интерес вызывает использование оптических вихрей, как носителей информации в оптических волоконных линиях связи и волоконно-оптических датчиках физических величин. Высокая чувствительность датчиков, использующих эффекты зависимости параметров распространения оптических вихрей в волокнах от внешних воздействий, дают возможность создавать датчики положения и датчики перемещения высокой точности, а тот факт что оптические вихри являются собственными модами оптических волокон дает возможность создания помехозащищенных линий связи с низким коэффициентом потерь. Но возбуждение вихрей в волокне сопряжено с рядом трудностей, как, например возбуждение в волокне только требуемых мод. Если поле на торце волокна представляет собой суперпозицию оптических вихрей с различными весовыми коэффициентами, то возбудится весь спектр мод, присутствующих во вводимом излучении, что приведет к нежелательным процессам взаимодействия различных мод в волокне. Для того, чтобы возбуждать только требуемые модовые состояния в волокне, необходимо проверять степень неоднородности топологических и поляризационных характеристик поля, которым производится возбуждение волокна. Нами предложен метод определения степени неоднородности пучков, содержащих оптические вихри.

Параметром, по которому можно судить об однородности топологического состава поля оптического вихря, может служить "степень топологичности" оптического вихря. Физический смысл этот параметр имеет следующий: поле в поперечном сечении пучка, несущего оптический вихрь одного заряда, имеет четко выраженный минимум интенсивности, локализованный в центральной части пучка. Более того, по форме и геометрическим размерам области нулевой интенсивности поля можно судить о топологическом заряде оптического вихря (Рис.1а). Если зона нулевой интенсивности поля имеет центрально-симметричную структуру, то можно говорить об однородности топологического состава исследуемого излучения. Если распределение интенсивности поля в поперечном сечении пучка представляет собой суперпозицию полей двух или более оптических вихрей, то мы не получим центрально-симметричной зоны нулевой интенсивности поля излучения. Другими словами, для "чистого" оптического вихря, зона нулевой интенсивности поля или вид круглого черного пятна и его размеры тем больше, чем больше величина топологического заряда.

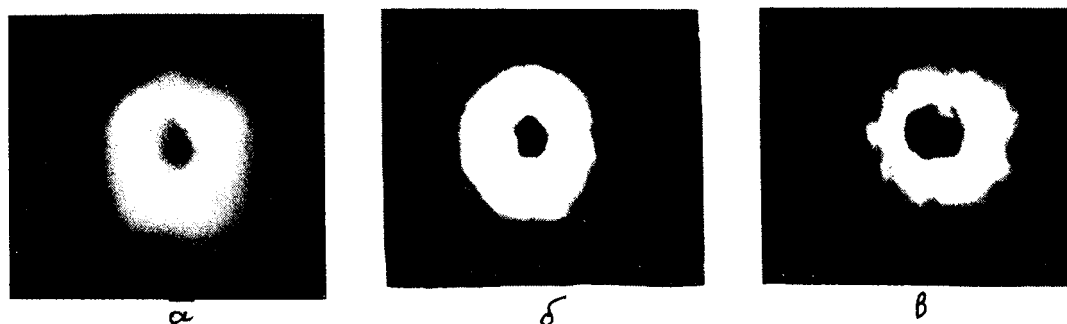


Рис. 1 Оптический вихрь с различными топологическими зарядами: а) $|l|=1$, б) $|l|=2$, в) оптический вихрь с топологическим зарядом $|l|=1$ минимум интенсивности имеет вид эллипса.

Если же вихрь не "чистый", то форма пятна становится эллиптической и эллиптичность тем больше, чем большее число оптических вихрей несет в себе исследуемый пучок.

То есть, исследуя геометрию области нулевой интенсивности пучка, можно сделать вывод об однородности топологического состава исследуемого пучка. Прямое измерение геометрических размеров зоны нуля затруднено по причине дифрагирования пучка на шкале измерителя.

Поставлена задача усовершенствовать способ анализа топологического состава оптического вихря, который позволяет получить количественную информацию о степени однородности топологического состава оптического вихря. Идея заключалась в том, что можно вместо измерения геометрических размеров произвести измерение интенсивности пучка по двум взаимно перпендикулярным направлениям и по формулам известной для степени поляризации пучка [1] определить степень эллиптичности, так как математический аппарат для описания степени поляризации и степени однородности топологического состава идентичен.

$$P = \frac{J_{\max} - J_{\min}}{J_{\max} + J_{\min}}$$

где J_{\min} - минимальная интенсивность света, регистрируемая фотоприемником,

J_{\max} - максимальная интенсивность света.

Прибор представляет собой систему цилиндрическая линза - щелевая диафрагма с фотоприемником. Вся система может вращаться вокруг продольной оси и имеет лимб для определения угловой координаты. Лазерное излучение, предварительно направляют на фазовый транспарант, пропускают через систему цилиндрическая линза - щелевая диафрагма с фотоприемником и фиксируют максимальные и минимальные значения фототока, определяя эталон степени однородности оптического излучения. Затем исследуемые излучения пропускают через

систему линза - диафрагма и повторно измеряют значение фототока и по приведенной формуле определяют степень однородности исследуемого пучка. Сравнивая величины степени однородности, анализируют топологический состав оптического вихря. Эксперимент состоял из двух этапов первый - калибровка и тестирование прибора, второй - измерение однородности оптических вихрей, генерируемых различными способами, и производился следующим образом : Излучение гелий-неонового лазера ЛГН-207 (Рис.2а) с длиной волны $\lambda = 0.63$ мкм направлялся на фазовый транспарант 2, вносящий разность фаз $\pi/2$ в поле излучения лазера 1 и производящий трансформацию гауссового пучка в пучок Лаггера-Гаусса.

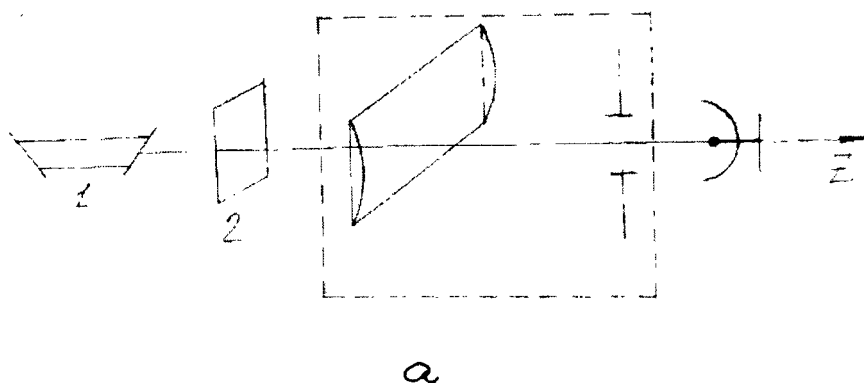


Рис.2 а) Схема экспериментальной установки: 1- He-Ne лазер, 2- транспарант, система: 3- цилиндрическая линза, 4- щелевая диафрагма, 5- фотодетектор.

Трансформированный гауссов пучок представлен на рис.2б. Затем излучение направлялось на прибор для дальнейшей юстировки и калибровки прибора. Как видно из рис.2б излучение имеет четкую область нулевой интенсивности в центре пучка, что дает нам возможность принять это излучение за эталон и приписать ему степень неоднородности топологического состава 1. Юстировка прибора заключалась в том, что в торце цилиндрической линзы 3 ставилась щелевая диафрагма 4 таким образом, чтобы при повороте системы цилиндрическая линза-диафрагма-фотоприемник вокруг продольной оси, значения фототока для пучка Лагерра-Гаусса пробегало значение от 0 до максимума. Выполнение этого условия достигалось путем изменения ширины щели и установления оси диафрагмы перпендикулярно главной геометрической оси цилиндрической линзы. Затем в экспериментальную установку (Рис.1а) по очереди вместо транспаранта 2 вносились устройства, генерируемые оптические вихри в свободном пространстве диэлектрическим клином (бипризмой Френеля), астигматичным модовым конвертором [2,стр.126, 3,стр.60], транспарантом, представляющим собой компьютерно-синтезированную голограмму [4,стр.423]. Исследуемый пучок,

несущий оптический вихрь (рис. 2 в, г), вводится в цилиндрическую линзу 3 и претерпевал схлопывание вдоль главной оптической оси линзы. Диафрагма 4 выделяет исследуемый участок деформированного излучения и фотодетектор 5 регистрирует значение фототока данного участка оптического вихря. Вращая систему, линза-диафрагма-фотодетектор производят измерения максимального и минимального значения фототока и по приведенной выше формуле рассчитывают степень однородности топологического состава оптического вихря.

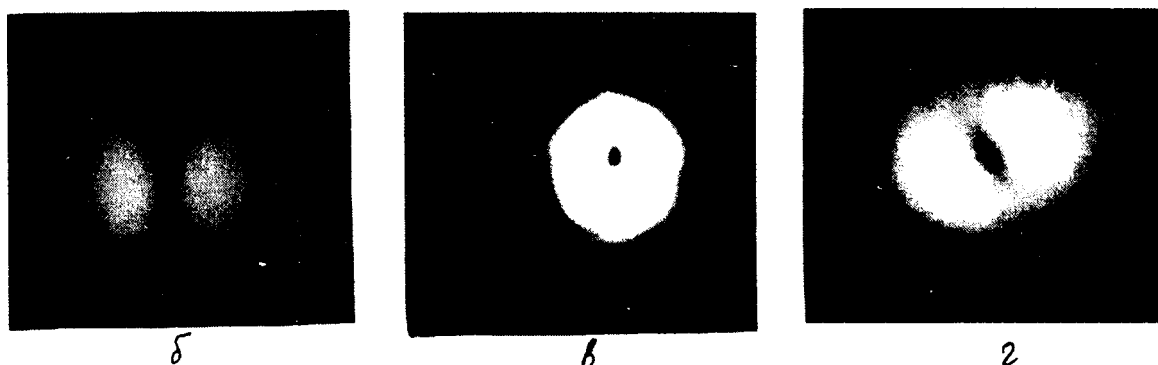


Рис. 2 б) трансформированный гауссов пучок, в. г) исследуемые оптические вихри.

Наименьшей степенью неоднородности обладают вихри, полученные при помощи компьютерно-синтезированной голограммы, наименьшей степенью неоднородности обладают вихри, полученные при помощи диэлектрического клина.

Предложенный способ позволяет получить количественную информацию о степени однородности топологического состава оптического вихря.

Литература.

1. Вольф, Борн Основы оптики- М.: Наука. 1973 -
2. M.W. Beijersbergen, L. Allen, H.E.L.O.van der veen and J.P. Woerdman Astigmatik laser mode converters and transfer of orbital angle momentum // Opt. Comm. -1993, V. 96 pp 123-132,
3. - E. Abramochkin, N. Losevsky, V. Volostnikov Generation of spirel type laser beams // Opt.Comm.- 141 (1997), pp.59-64