

ДИФРАКЦИЯ СВЕТА НА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОМ КЛИНЕ И ФОРМИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКОГО ВИХРЯ

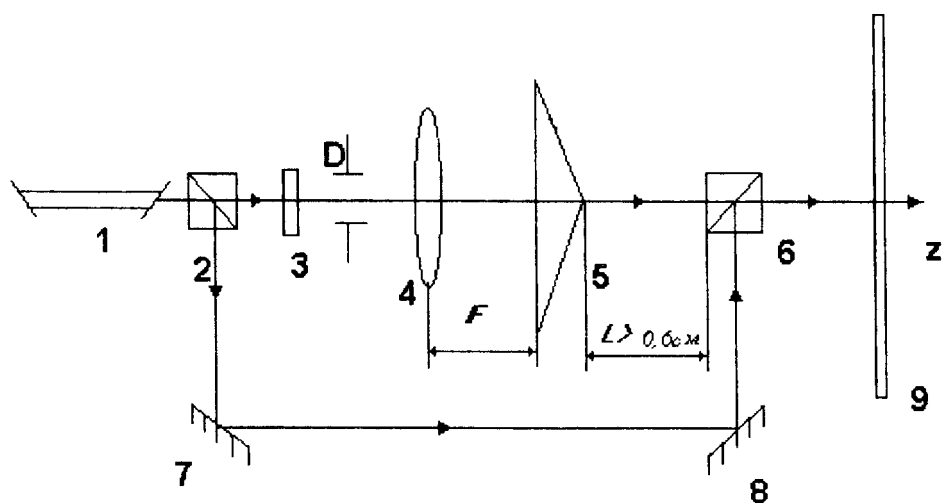
Бородавка О. С., аспирант

В настоящее время большой интерес вызывает распространение вихрей в оптических волокнах и в свободном пространстве. Ранее известные способы формирования оптических вихрей с помощью компьютерно-синтезированной голограммы [1], линзовых систем [2], перестраиваемых открытых оптических резонаторов [3] и другие способы формирования оптических вихрей не позволяют проводить быстрый анализ исследуемого излучения.

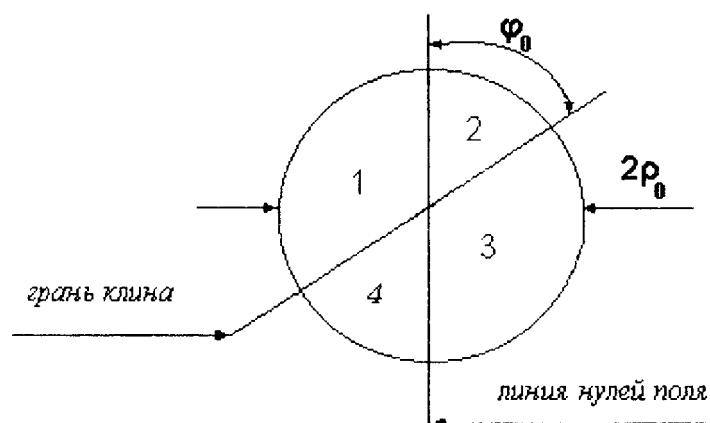
Нами предложен способ для экспресс-анализа топологического состава излучения выходящего из волокна, а также для формирования оптических вихрей в свободном пространстве с интенсивностью преобразования равной 90 %. Способ также может быть использован для создания анализирующих устройств к датчикам, построенных на оптических волокнах и использующих зависимость характеристик распространения оптических вихрей от внешних деформаций, кручения и изгиба волокон и в создании оптических помехозащищенных линиях связи.

Излучение от He-Ne лазера 1, с длиной волны $\lambda = 0.63$ мкм, направлялось в интерферометр Маха-Цендера (Рис. 1а). В предметном плече интерферометра помещался фазовый транспарант 3, обеспечивающий сдвиг фазы на $\pi/2$, и переводящий пучок Гаусса (ТЕМ₀₀) в пучок Лагерра-Гаусса (ТЕМ₁₀). Сформированный пучок Лагерра-Гаусса (Рис. 2а), распространяющийся вдоль оси Z, проходит через систему длиннофокусная линза 4 и оптический клин (бипризма Френеля) 5.

Пучок сжимается так, что на входной плоскости клина 5 с углом $\alpha = 1,8$ град, установленного в фокусе линзы 4, его диаметр составляет $2\rho_0$. Грань клина ориентируется относительно оси дислокации пучка Лагерра-Гаусса под углом $\varphi_0 = 45$ град, находится в зоне перетяжки с радиусом $\rho_0 = 5$ мкм и делит площадь пучка на четыре взаимно-симметричных участка (Рис. 1б). Площади этих участков задаются углом φ_0 . Вследствие дифракционных свойств пучка и направляющих свойств клина в дальней зоне дифракции на расстоянии $L = 10$ см (много больше длины Рэлея $L_p = 0,6$ см) формируется оптический вихрь (Рис. 2б). По виду интерференционной картины (Рис. 2в) определяется топологический заряд полученного оптического вихря ($|l| = 1$). Если гауссов пучок (ТЕМ₀₀), прошедший через транспарант 3, переводится в моду ТЕМ₁₁ (Рис. 2г), то, пройдя систему линза 4-оптический клин 5, он преобразуется в пучок Эрмита-Гаусса, вид которого представлен на рис. 2д. Результат интерференции преобразованного пучка с гауссовым приведен на рис. 2г.



а



б

Рис.1 а) схема экспериментальной установки: 1- He-Ne лазер; 2,6 - делительные кубики; 3- транспарант; 4 - линза; 5 - диэлектрический клин; 7,8 - зеркала; 9 - экран.
б) ориентация грани клина относительно оси дислокации

По виду интерференционной картины (Рис.2в) определяется топологический заряд полученного оптического вихря ($|l| = 1$).

Динамика образования оптического вихря представлена последовательностью фотографий на рис.3. На расстоянии, равном длине Рэлея $L_p = 0,6$ см имеет место поворот оси дислокации пучка Лагерра-Гаусса на 45 град. Полное формирование вихря происходит на расстоянии, значительно превышающем длину Рэлея.

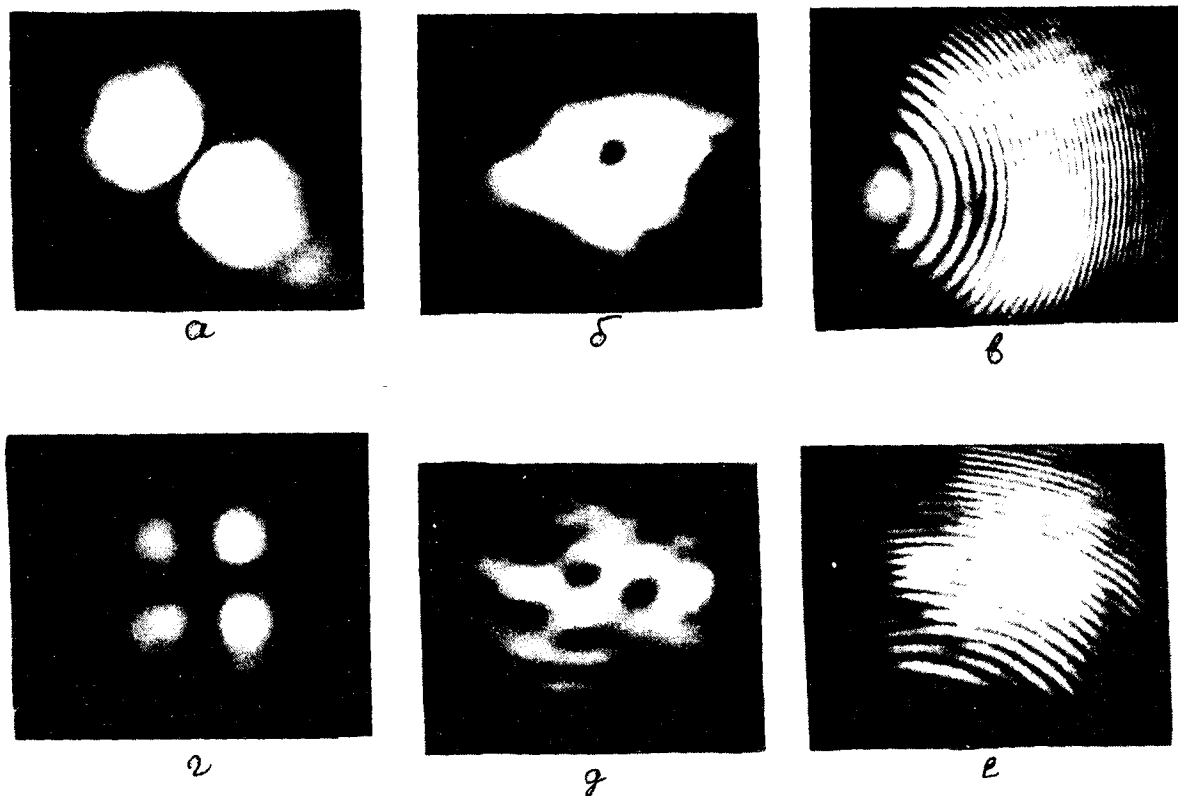


Рис.2. а) Пучок Лагерра-Гаусса (мода TEM_{10}); б) оптический вихрь с топологическим зарядом $|l|=1$; в) интерференционная картина полученная в результате сложения пучка Гаусса с оптическим вихрем; г) мода TEM_{11} ; д) пучок Эрмита-Гаусса трансформированный из моды TEM_{11} ; е) интерференционная картина, полученная в результате наложения "чистого гаусса" и моды TEM_{11} .

Процесс преобразования пучков Лагерра-Гаусса в пучки Эрмита-Гаусса обратим и однозначен, поэтому, пользуясь таблицей конверсии пучков Лагерра-Гаусса в пучки Эрмита-Гаусса [4, с. 129], можно определить характеристики исследуемого излучения. По типу интерференционной картины (Рис. 2в,е) можно судить о топологических характеристиках оптического вихря, сформированного оптическим клином. Однако изложенный выше способ анализа топологического состава оптического вихря по интерференционной картине не является оптимальным вследствие недостаточной помехозащищенности.

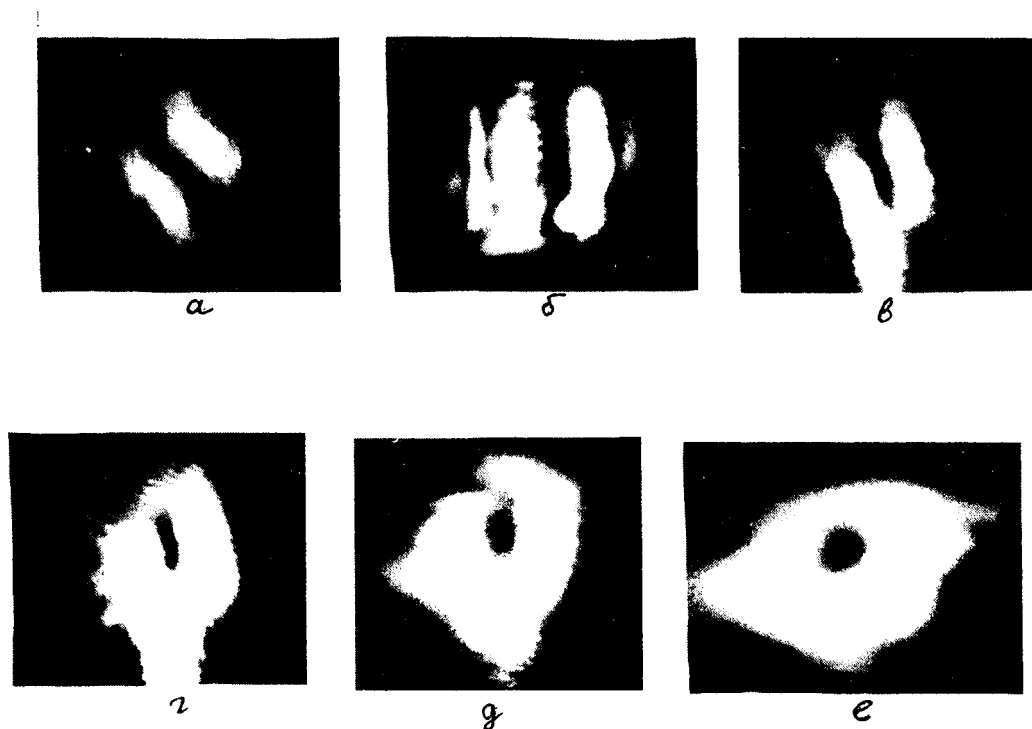


Рис.3. Динамика образования оптического вихря на расстоянии L от клина: а) $L_1=0,2$ см; б) $L_2=L_0=0,6$ см; в) $L_3=2,5$ см; г) $L_4=3,1$ см; д) $L_5=5,7$ см; е) $L_6=10$ см.

Экспресс-метод анализа оптического вихря с помощью системы длиннофокусная линза-диэлектрический клин (бипризма Френеля) позволяет определять величину и знак топологического заряда оптического вихря без использования интерференционной картины. Согласно предлагаемому способу в экспериментальной схеме (Рис.1а) производится замена фазового транспаранта Z на транспарант, представляющий собою компьютерно-синтезированную голограмму, на которой гауссов пучок испытывает дифракцию. Исследуемый дифракционный порядок с топологическим зарядом l (Рис.4а $|l|=1$, Рис.4г $|l|=2$) выделяется с помощью диафрагмы D . Проходя через систему линза-оптический клин этот порядок в дальней зоне трансформируется в пучок Лагерра-Гаусса. В дальней зоне дифракции на экране 9 формируется характерная, ранее затабулированная картина распределения нулей напряженности поля светового пучка. Число зон с нулевой интенсивностью в поле на экране 9 однозначно отражает топологический характер анализируемого поля. Если анализируемый вихрь имеет заряд $|l|=1$, то на экране формируется дифракционная картина, содержащая один выраженный ноль интенсивности (Рис. 4б). Иными словами, описанный экспресс-метод позволяет определить величину заряда оптического вихря. По ориентации оси дислокации пучка Лагерра-Гаусса определяют знак топологического заряда данного оптического вихря. Если угол наклона оси дислокации относительно направляющей оси $\beta = +45$ град, то $l > 0$, если $\beta = -45$ град, то $l < 0$.

Предложенный способ анализа величины и знака топологического заряда оптического вихря обеспечивает качественное увеличение помехозащищенности анализируемого пучка и невосприимчивость топологических характеристик к радиационным параметрам источника излучения, в связи с чем он наиболее перспективен в применении к задачам ввода излучения в волокна и анализа оптических вихрей на их выходе.

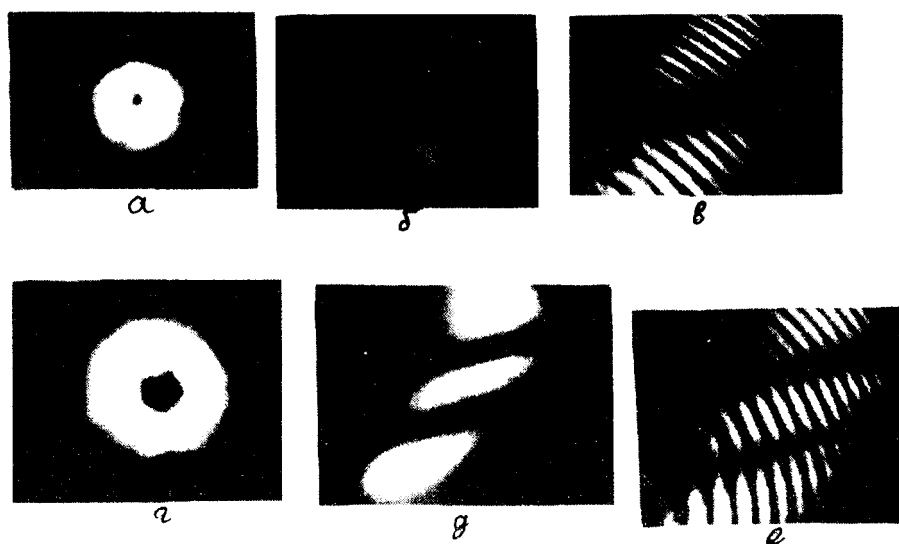


Рис.4. Экспресс-анализ оптического вихря: а) оптический вихрь с зарядом $l = -1$; б) оптический вихрь с зарядом $l = -1$, трансформированный в пучок Лагерра-Гаусса; в) интерференционная картина; г) оптический вихрь с топологическим зарядом $l = +2$; д) оптический вихрь с топологическим зарядом $l = +2$ трансформированный в пучок Лагерра-Гаусса; е) интерференционная картина;

Литература.

1. Basistiy J.V., Bazhenov I.V., Soskin M.S., Vasnetsov M.V. Optics of light beams with screw dislocations// Opt. Comm.- 1993, V.103, pp.422-428.
2. M.W. Beijersbergen, L. Allen, H.E.L.O. van der veen and J.P. Woerdman Astigmatic 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 spiral - type laser beams// Opt. Comm. - 141(1997), pp. 59-64.
4. E. Abramochkin and V. Volostnikov Beam transformation and nontransformed beams// Opt. Comm.- 1991, V.83, N 1,2, pp.123-135.