

07

©1994

ИЗМЕНЕНИЕ ЗНАКА ТОПОЛОГИЧЕСКОГО ЗАРЯДА ОПТИЧЕСКИХ ВИХРЕЙ ПОЛЯ МНОГОМОДОВОГО ВОЛОКНА

А.В.Воляр, С.Н.Лапаева, Т.А.Фадеева,

Недавно авторы работы [1] предположили, что физическое действие топологической фазы Берри должно иметь обратное проявление при уменьшении величины фазы Берри в пространстве импульсов. В самом деле, это проявилось открытием нового явления — оптического эффекта Магнуса [2,3]. Однако для проявления оптического эффекта Магнуса должно существовать еще одно достаточное условие: степень свободы проекции импульса. Действительно, оптический эффект Магнуса наблюдался в цилиндрических волокнах, а в ленточных не обнаружен. Волновая функция фотона зависит от энергии, импульса, поляризации, а также сингулярностей поля или оптических вихрей и их топологического заряда [4]. Если же одной из характеристик когерентного ансамбля фотонов предоставить достаточное число степеней свободы (например, импульсу оптического эффекта Магнуса), то для явления изменения топологической фазы возникает сопутствующий ей эффект.

В данном случае рассматривается фаза Панчаратнама [5], которая равна дополнительной фазе, набираемой при обходе замкнутого контура на сфере Пуанкаре. Выбор фазы Панчаратнама был не случаен, поскольку по своим формальным признакам она напоминает топологическую фазу Берри. Но, в отличие от фазы Берри, для вычисления фазы Панчаратнама по замкнутому контуру переносится не вектор поляризации, а осуществляется адиабатический перенос спина частицы.

Целью данной работы явилось исследование явления изменения знака топологического заряда оптических вихрей поля мало- и многомодового волокна. Исследуемое явление является сопутствующим эффектом фазы Панчаратнама. Согласно сложившейся терминологии, под проявлением оптического вихря будем понимать дислокацию электрического вектора [4,6]. Способ определения топологического заряда описан в работе [4]. В месте дислокаций не определена величина фазы поля. Поэтому мы обратили внимание

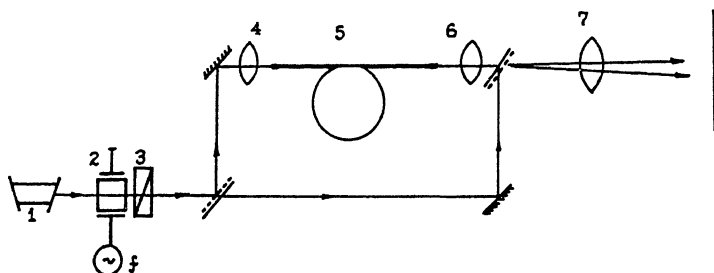
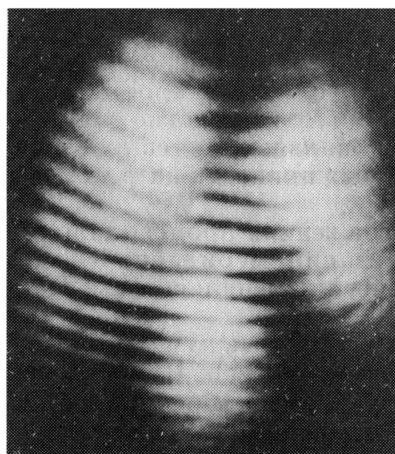


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

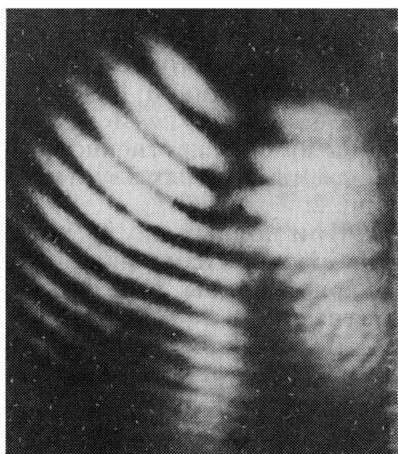
в последующих экспериментах на структуру и топологический заряд оптического вихря.

1. Экспериментальная установка для исследования данного эффекта приведена на рис. 1. Установка собрана на базе интерферометра Маха-Цендера, в одно плечо которого помещалось маломодовое волокно. Свет от гелий-неонового лазера 1 проходил через электрический модулятор 2, изменяющий фазу δ поля лазерного пучка в пределах $(0, \pi)$ с частотой, меняющейся в пределах $f \sim (0.1-10 \text{ Гц})$. Ось пропускания поляризатора 3 ориентировалась вдоль оси x электрооптического модулятора, что обеспечивало существенное снижение перекрестной связи между δ_x и δ_y фазами. Свет посредством 20-кратного микрообъектива 4 вводился в маломодовое волокно 5 с волноводным параметром $V = 5.1$ и длиной 0.5 м. Волокно возбуждалось таким образом, чтобы в его модовом составе доминировали собственные моды типа TE_{01} и HE_{21} . Необходимость возбуждения TE_{01} -мод обусловлена тем, что структура этой моды может быть представлена в виде меридиональных локальных волн [7]. То есть условия эксперимента для мод TE_{01} приближались к условиям классического эксперимента по определению топологической фазы γ_P Панчаратнама [5].

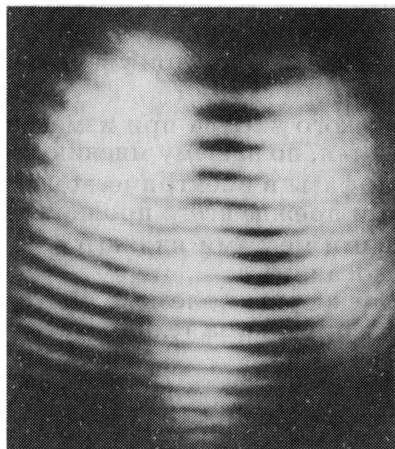
Волокно обладало слабой анизотропией $\Delta n \sim 10^{-6}$ и в нем практически отсутствовала скрутка осей анизотропии. При таких условиях эксперимента фаза Панчаратнама в волокне составляла $\gamma_P \sim 0.1$. Излучение из волокна выводилось посредством $20\times$ микрообъектива 6. На экране наблюдалась интерференция двух полей. На рис. 2, а произведена фотография интерферограммы оптических вихрей, когда на модулятор подается фаза $\delta = 0$. При скачкообразном изменении фазы $\delta = 0$ на $\pi/2$ на интерферограмме возникало изменение направления дислокаций. Кроме того, возникало смещение дислокаций. Интерференционная картина в



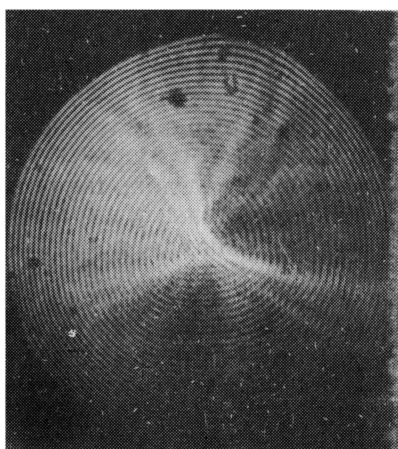
a



b



c



d

Рис. 2. Фотографии оптических вихрей для маломодовых волокон при фазовой модуляции: *a* — $\delta = 0$, *b* — $\delta = \pi/2$, *c* — $\delta = \pi$, *d* — для многомодового волокна.

целом не испытывала смещения. Верхний край “оборванной” интерференционной полосы образует “вилку”, замыкается на соседнюю интерференционную полосу. Такая эволюция внутри сингулярности поля переориентировала дислокацию (рис. 2, *b*). При изменении фазы до π происходила аннигиляция оптических вихрей (рис. 2, *c*). Согласно [4], описанное изменение вихрей равносильно замене знака топологического заряда на противоположный.

2. Исследовался эффект эволюции топологического заряда в существенно многомодовых волокнах. Выбиралось оптическое волокно с числовой апертурой 0.36, диаметром 0.5 мкм и длиной 10 см. В этом случае второе плечо интерферометра не использовалось. В волокне возбуждались преимущественно меридиональные лучевые траектории, вид лучевых каустик которых приведен на фотографии рис. 2, г.

При полных внутренних отражениях происходило скачкообразное изменение поляризации меридиональной локальной волны, в результате чего изменялась фаза Панчаратнама.

Для данного эксперимента различные лучевые траектории имели фазу Панчаратнама $\gamma_p \in (-\pi, \pi)$. При изменении фазы на модуляторе от 0 до $\pi/2$ в интерференционной картине наблюдалось наряду с изменением знака топологического заряда также смещение дислокаций. Однако этот эффект менее выражен, чем в предыдущем эксперименте, что связано с высоким уровнем топологической фазы в волокне (аналогично уменьшению эффекта Магнуса при увеличении фазы Берри [2]).

Изменение знака топологического заряда при изменении фазы лазерного пучка объясняется, по нашему мнению, тем, что появление дополнительной фазы в электрическом поле с фиксированными параметрами прежде всего проявит себя в местах сингулярностей. Такими местами являются оптические вихри этого поля (дислокации).

Авторы благодарят М.С.Соскина за полезные обсуждения результатов работы и А.В.Ермакова за техническую помощь при оформлении статьи.

Список литературы

- [1] Зельдович Б.Я., Либерман В.С. // Квантовая электроника. 1990. Т. 17. В. 4. С. 493-494.
- [2] Воляр А.В., Лапаева С.Н. // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. В. 24. С. 74.
- [3] Дугин А.В., Зельдович Б.Я. Кундикова Н.Д., Либерман В.С. // ЖЭТФ. 1991. Т. 100. В. 11. С. 1474-1482.
- [4] Berry M. Singularities in waves and rays. In: R.Ballan. Physics of defects. NorthHolland Publishing Company, 1981. P. 456-543.

- [5] *Виницкий С.И., Дебров В.Л., Дубовик В.М., Марчевский Б.Л., Степановский Ю.П.* // УФН. 1990. Т. 160. В. 6. С. 1-49.
- [6] *Зельдович Б.Я., Пилипецкий Н.В., Шкунов В.В.* Обращение волнового фронта. М.: Наука, 1985. С. 67-79.
- [7] *Снайдер А., Лав Дж.* теория оптических волноводов. М.: Радио и связь, 1987. С. 358-376.

Симферопольский государственный
университет
им.М.В.Фрунзе

Поступило в Редакцию
8 января 1994 г.
