

Вихревые аксиконы для формирования гипергеометрических пучков

С.В. Ганчевская^{а,б}, Р.В. Скиданов^{а,б}

^а Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва, 443086, Московское шоссе, 34, Самара, Россия

^б Институт систем обработки изображений РАН - филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, 443001, ул. Молодогвардейская, 151, Самара, Россия

Аннотация

Описан метод формирования ДОЭ путем сложения двух гипергеометрических вихрей. Рассчитаны дифракционные оптические элементы (вихревые аксиконы), которые за счет сочетания в фазовой функции двух логарифмических аксиконов формируют суперпозиция двух гипергеометрических вихрей.

Ключевые слова: гипергеометрический пучок; аксикон; дифракционный оптический элемент; световой пучок; распределение интенсивности; суперпозиция вихревых пучков

1. Введение

Гипергеометрические моды, как и Бесселевы моды, находят применение в задачах оптической микроманипуляции для перемещения [1] и вращения микробиологических объектов [2], а также в микромеханических системах. Чаще всего для этого используются пучки Бесселя [3], моды Лагерра-Гауса [4] и дифракционные оптические элементы [5, 6]. В работе [7] показано, что ГПП позволяют получать больший момент вращения по сравнению с пучками Бесселя. Также можно варьировать распределение интенсивности ГПП в зависимости от задач оптической микроманипуляции.

Формировать гипергеометрический пучок можно с помощью бинарного логарифмического аксикона [8, 9]. В работе [10] был предложен метод формирования световых полей, которые представляют собой суперпозицию нескольких вихревых световых пучков, которые формируются вихревыми аксиконами. В работах [11] Беря за основу этот метод, описанный в [10]. В настоящей работе описывается формирование суперпозиции гипергеометрических функций, в которой топологические заряды структуры и зон, как и в [11] складываются, а распределение интенсивности представляет собой набор световых колец примерно равной интенсивности, что естественным образом решает задачу.

2. Вихревые аксиконы с логарифмическим распределением фазы в зонах

Рассмотрим вихревой аксикон [10]. Если в каждой зоне вихревого аксикона, которая соответствует выступу на микрорельефе фазовая функция будет для логарифмического аксикона с одним зарядом, а в тех зонах вихревого аксикона, которые соответствуют впадинам на микрорельефе фазовая функция будет для логарифмического аксикона с другим зарядом, то в результате работы такого элемента в ближней зоне сформируется суперпозиция двух гипергеометрических пучков (ГГ пучков), которая будет представлять собой набор световых колец с примерно равной интенсивностью. Так на рис. 1 представлена суперпозиция двух ГГ мод с одинаковыми зарядами 1. Но так как фазовая функция на элементе повернута на 180, то эти моды идут с фазовым сдвигом. При этом топологические заряды структуры и зон складываются, что позволяет при заданной структуре колец регулировать наклон волнового фронта, что очень полезно в задаче оптического вращения микрообъектов.

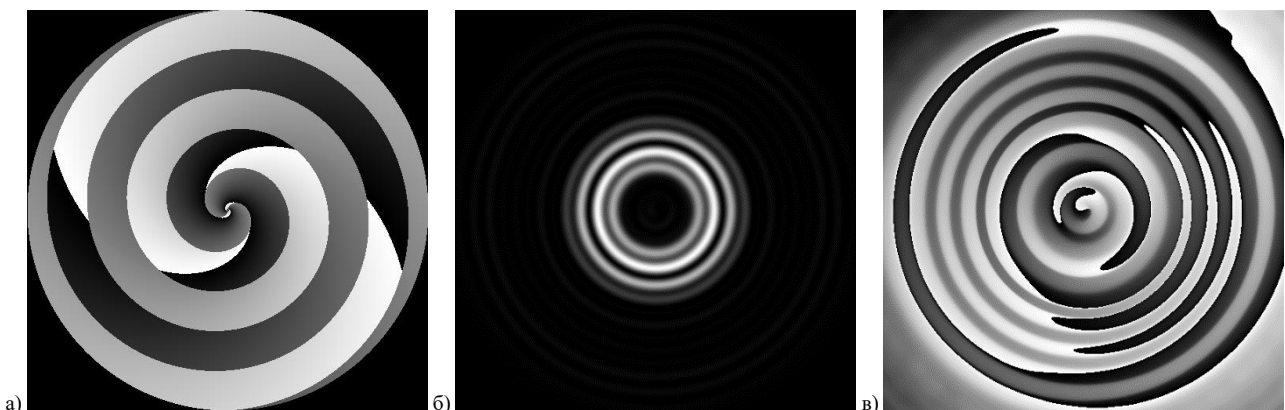


Рис. 1. Фазовая функция ДОЭ для формирования суперпозиции световых пучков пучка с топологическими зарядами - 2 для структуры и 1 для зон (а), распределение интенсивности в дальней зоне дифракции (б), фаза пучка (в).

На рис.2 представлен еще один пример работы такого элемента – суперпозиция двух ГГ мод с одинаковыми зарядами 5, для удобства топологический заряд структуры нулевой. В этом случае формируется система колец с вихрем пятого порядка.

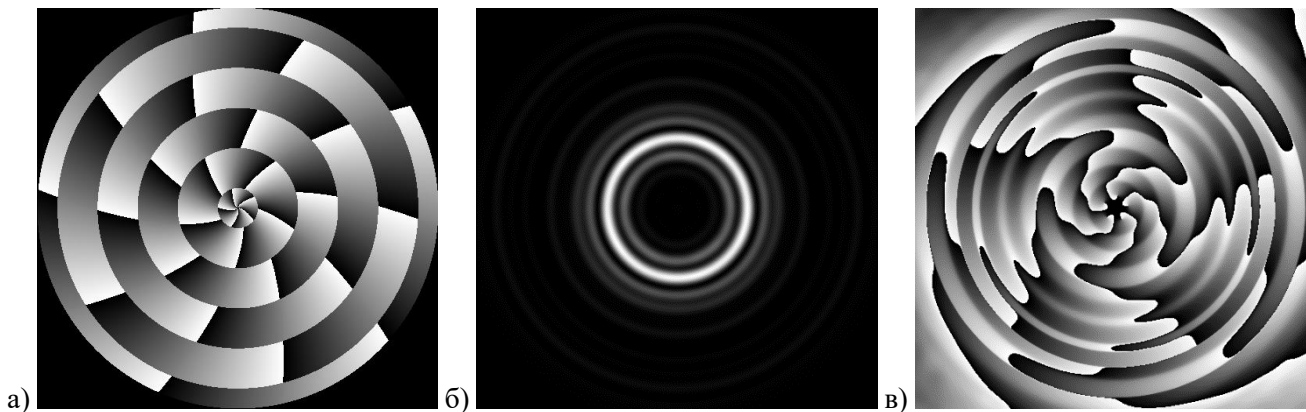


Рис. 2. Фазовая функция ДОЭ для формирования суперпозиции световых пучков пучка с топологическими зарядами 0, 5 (а), распределение интенсивности в дальней зоне дифракции (б), фаза пучка (в).

На рис.3 представлен вихревой аксикон, в зонах которого логарифмические аксиконы с зарядами 10 повернуты на полпериода. Также, как и в предыдущем случае, получился вихрь теперь уже 10-го порядка. Следует заметить, что соотношение интенсивностей колец довольно сильно изменилось. Это дает основания полагать, что за счет подбора периода вихревого аксикона и топологического заряда в зонах можно подобрать нужное соотношение между интенсивностями колец.

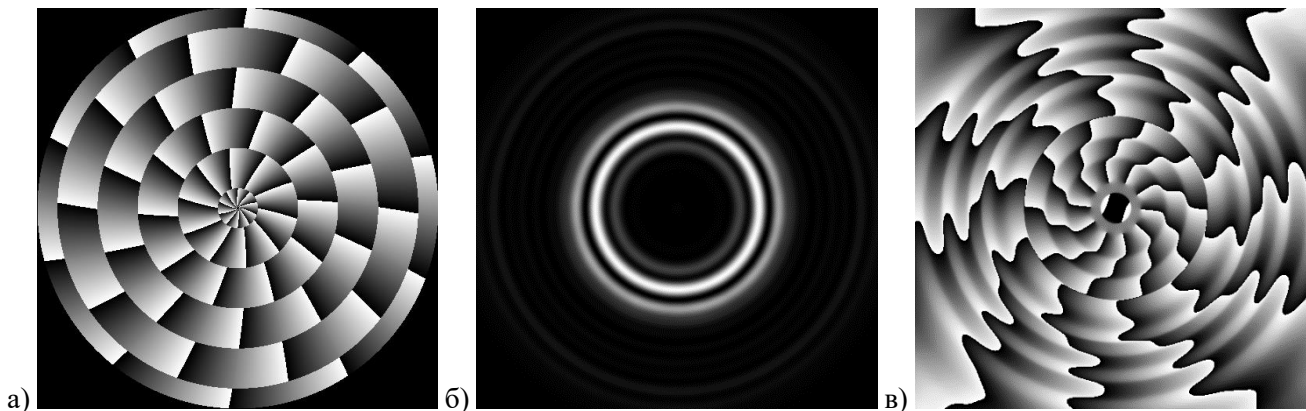


Рис. 3. Фазовая функция ДОЭ для формирования суперпозиции световых пучков пучка с топологическими зарядами 0, 10 (а), распределение интенсивности в дальней зоне дифракции (б), фаза пучка (в).

Если мы посмотрим не чистый гипергеометрический пучок, который формируется логарифмическим аксиконом (рис. 4), то обнаруживается, что масштаб чистого ГГ пучка намного меньше по сравнению с тем, что формируется вихревыми аксиконом с логарифмическими зонами.

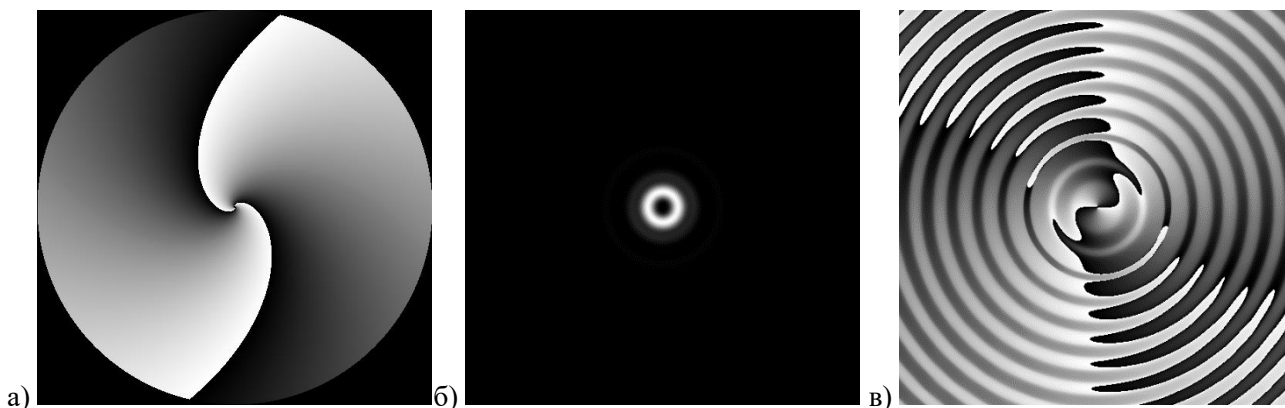


Рис. 4. Фазовая функция гипергеометрического ДОЭ с топологическими зарядами 2, -2 (а), распределение интенсивности в дальней зоне дифракции (б), фаза пучка (в).

Очевидно, что интерференция двух гипергеометрических мод приводит к гашению центральной части и к появлению ярких колец на периферии.

Эти элементы также интересно работают в ближней зоне. Так на рис. 5 представлен результат дифракции на вихревом аксиконе с топологическим зарядом структуры 2 и топологическими зарядами зон 2. В ближней зоне этот аксикон формирует вихрь с топологическим зарядом 4, очень похожий на ГГ моду четвертого порядка.

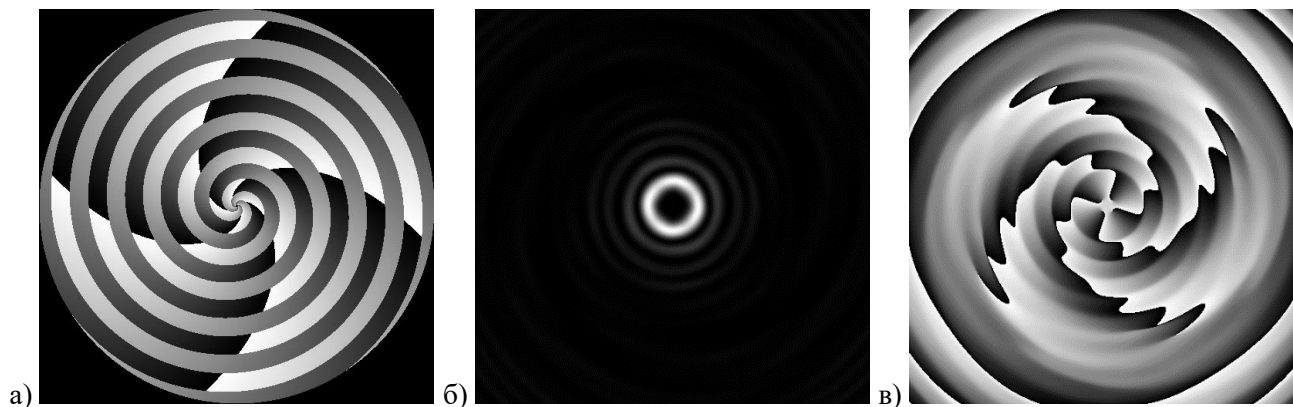


Рис. 5. Фазовая функция ДОЭ для формирования суперпозиции двух гипергеометрических вихрей с топологическими зарядами 2, -2 (а), распределение интенсивности на расстоянии 1,6 м (б), фаза пучка (в).

Таким образом наблюдается описанный в [11] эффект сложения топологических зарядов структуры и зон, но теперь уже для гипергеометрических пучков, и можно считать этот эффект действительным для всех вихревых пучков.

3. Заключение

На основе проведенных вычислительных экспериментов показано, что использование в качестве зон вихревого аксикона участков логарифмического аксикона, позволяет формировать в дальней зоне дифракции световой пучок, топологический заряд которого складывается из топологических зарядов структуры и зон, а распределение интенсивности по кольца этого пучка можно регулировать, меняя топологические заряды и период вихревого аксикона. Такое свойство сформированных пучков полезно в задаче оптического вращения микрообъектов. Также удалось показать, что при использовании в качестве зон вихревого аксикона участков логарифмического аксикона в ближней зоне дифракции формируется гипергеометрическая мода с топологическим зарядом, который представляет собой сумму топологических зарядов структуры и зон вихревого аксикона.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 16-47-630677 р_а).

Литература

- [1] Котляр, В.В. Некоторые типы гипергеометрических лазерных пучков для оптического микроманипулирования / В.В. Котляр, А.А. Ковалёв, Р.В. Скиданов, С.Н. Хонина // Компьютерная оптика. – 2008. – Т. 32, № 2. – С. 180-186.
- [2] Скиданов, Р.В. Оптическое вращение микрочастиц в гипергеометрических пучках, сформированных дифракционными оптическими элементами с многоуровневым микрорельефом / Р.В. Скиданов, С.Н. Хонина, А.А. Морозов // Оптический журнал. – 2013. – Т. 80, № 10. – С. 3-8.
- [3] Скиданов, Р.В. Оптическая микроманипуляция // Вестник Самарского аэрокосмического университета. – 2008. – Т. 2. – С. 35-50.
- [4] Ковалёв, А.А. Передача орбитального углового момента асимметричных пучков Лагерра-Гаусса диэлектрическим микрочастицам / А.А. Ковалёв, В.В. Котляр, А.П. Порфирьев // Компьютерная оптика. – 2016. Т. 40 №3. – С. 305-311.
- [5] Скиданов, Р.В. Манипуляция микрообъектами с помощью линейных ловушек, формируемых вихревыми аксиконами / Р.В. Скиданов, А.П. Порфирьев, С.В. Ганчевская // Компьютерная оптика. – 2014. – Т. 38, № 4. – С. 717-721.
- [6] Ganchevskaia, S.V. Diffractive optical elements for capturing and controlled rotation of micro-objects / S.V. Ganchevskaia, R.V. Skidanov // CEUR Workshop Proceedings. – 2015. – P. 53-60.
- [7] Скиданов, Р.В. Расчет силы, действующей на сферический микрообъект в гипергеометрических пучках / Р.В. Скиданов, С.Н. Хонина, А.А. Морозов, В.В. Котляр // Компьютерная оптика. – 2008. – Т. 32, № 1. – С. 39-42.
- [8] Kotlyar, V.V. Generating hypergeometric laser beams with a diffractive optical elements / V.V. Kotlyar, A.A. Kovalev, R.V. Skidanov, S.N. Khonina, J. Turunen // Appl. Opt. – 2008. – Vol. 47(32). – P. 6124–6133.
- [9] Kotlyar, V.V. Encoded binary diffractive element to form hypergeometric laser beams / V.V. Kotlyar, A.A. Kovalev, R.V. Skidanov, S.N. Khonina, J. Turunen // J.Opt. A: Pure Appl. Opt. – 2009. – Vol. 11(6). – P. 065702.
- [10] Скиданов, Р.В. Дифракционные оптические элементы для формирования комбинаций вихревых пучков в задаче манипулирования микрообъектами / Р.В. Скиданов, С.В. Ганчевская // Компьютерная оптика. – 2014. – Т. 38, № 1. – С. 65-71.
- [11] Скиданов, Р.В. Формирование пучков Бесселя вихревыми аксиконами / Р.В. Скиданов, С.В. Ганчевская // Компьютерная оптика. – 2014. – Т. 38, № 3. – С. 463-468.