

# Манипуляция ансамблем одиночных микрочастиц в пространстве

К.А. Целогородцев

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара, Россия

**Обоснование.** Пространственная структура светового поля является важным аспектом в задачах оптических и лазерных технологий. Открытие оптики спиральных пучков позволило получить широкий класс световых полей с заданным распределением интенсивности и фазы. Такие пучки на сегодняшний день представляют особый интерес для нескольких научных сфер, таких как лазерная манипуляция, оптическая наноскопия, кодирование информации. Для манипуляции ансамблями одиночных микрочастиц удобно использовать линейную композицию спиральных пучков, обладающих свойством поворота при распространении. Такие поля могут быть получены на основе простейших спиральных пучков — смещенных гауссовых пучков. Разрабатываемый нами метод формирования вихревых полей отличается от существующих возможностью их синтеза с использованием информации только о фазовом распределении спиральных пучков в виде упорядоченного набора гауссовых пучков.

**Цель** — разработка удобного и быстрого механизма формирования вихревых световых полей на основе линейной комбинации гауссовых пучков. Такие световые поля в виде массива ловушек, который обладает свойством поворота, применимы для манипулирования набором одиночных микрообъектов в трехмерном пространстве.

**Методы.** Исследования показывают, что фазовая часть спирального пучка позволяет создавать вихревые поля, в некоторой области обладающие свойствами спиральных пучков с формой распределения интенсивности, схожим с исходным. Для быстрого и удобного расчета спиральных пучков была создана программа в пакете Wolfram Mathematica по анализу изображений, которая определяет количество смещенных пучков и их положение для получения фазового распределения с заданным пространственным разрешением. На рис. 1 представлен пример работы программы.

Световые поля в форме вершин треугольника (рис. 2) и Кассиопеи (рис. 3) были использованы для пространственной манипуляции микрообъектами в оптическом пинцете. Поля формировались при помощи

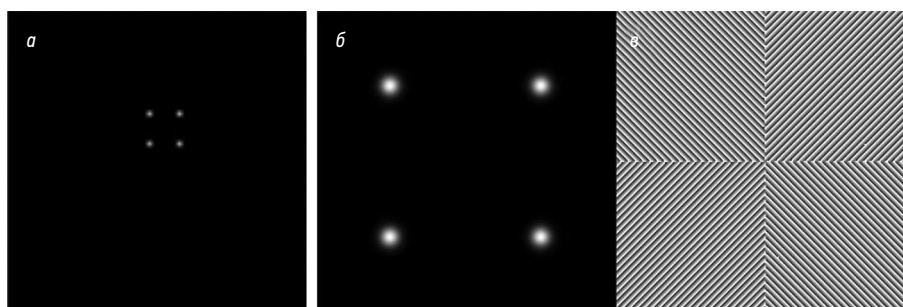


Рис. 1. *a* — изображение, загруженное в программу; *b* — полученное распределение интенсивности; *v* — полученное фазовое распределение

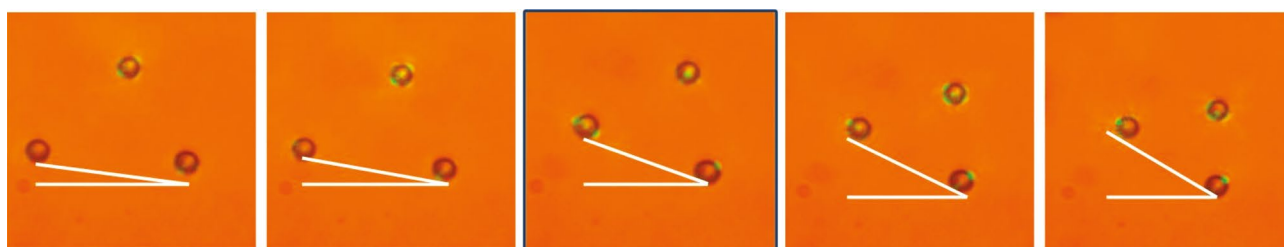


Рис. 2. Кадры из эксперимента по оптическому повороту латексных микросфер при дефокусировке лазерного пучка в форме вершин треугольника

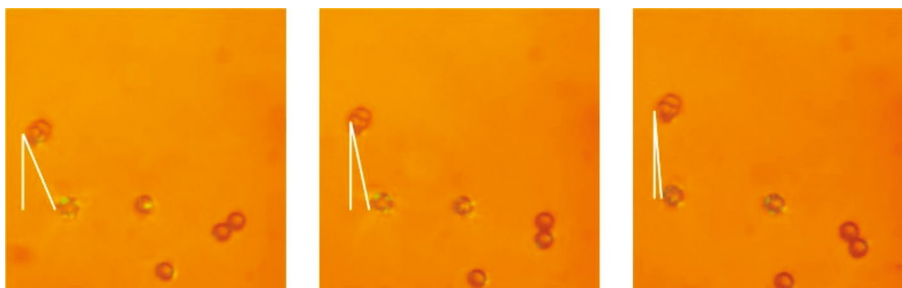


Рис. 3. Кадры из эксперимента по оптическому повороту латексных микросфер при дефокусировке лазерного пучка в форме вершин Кассиопеи

ЖК ПМС PLUTO-2-NIR-011. Схема установки представлена в работе [4]. На модулятор подавалось фазовое распределение для спирального пучка заданной конфигурации. Сфокусированный с помощью микрообъектива с 40X увеличением пучок служил для захвата, перемещения и поворота частиц латекса диаметром 4 мкм. При помощи программного обеспечения модулятора производилась дефокусировка лазерного пучка. Наблюдалось, что исследуемые образцы, захваченные массивом точечных ловушек, при дефокусировке поворачивались, сохраняя свою конфигурацию.

**Результаты.** В работе представлено развитие одного из методов формирования спиральных пучков в виде линейной комбинации смещенных гауссовых пучков, и создана программа по синтезу таких пучков. В процессе работы была экспериментально показана возможность масштабирования фазового распределения. Получено, что при изменении масштаба фазового распределения качество остается приемлемым при сжатии не более чем в четыре раза. Сформированные вихревые световые поля на основе фазовых распределений, полученных при помощи разработанной программы, были апробированы при манипулировании ансамблем микроскопических объектов в оптическом пинцете.

**Выводы.** Реализованный в работе способ расчета позволил значительно упростить и ускорить процесс создания вихревых световых полей для оптической манипуляции ансамблями микрообъектов.

**Ключевые слова:** вихревые поля; спиральные пучки; лазерная ловушка; оптическая манипуляция; поворот микрообъектов.

### Список литературы

1. Абрамочкин Е.Г., Волостников В.Г. Спиральные пучки света // Успехи физических наук. 2004. Т. 174, № 12. С. 1273–1300. doi: 10.3367/UFNr.0174.200412a.1273
2. Абрамочкин Е.Г., Волостников В.Г. Современная оптика гауссовых пучков. Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2010. 184 с.
3. Котляр В.В., Хонина С.Н., Ковалев А.А. Вихревые лазерные пучки — К 73. Самара: СГАУ, 2007. 160 с.
4. Целогородцев К.А., Котова С.П., Лосевский Н.Н., Урюпина В.К. Вихревые световые поля для оптической манипуляции ансамблями микрообъектов. В кн.: Сборник научных трудов XIII международной конференции по фотонике и информационной оптике. Москва: НИЯУ МИФИ, 2024. С. 153–154.

### Сведения об авторе:

**Кирилл Александрович Целогородцев** — студент, группа 4101-030402D, физический факультет, кафедра оптики и спектроскопии; Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара, Россия. E-mail: tselogorodtsev23@mail.ru

### Сведения о научном руководителе:

**Светлана Павловна Котова** — кандидат физико-математических наук, профессор кафедры оптики и спектроскопии; Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара, Россия E-mail: kotova@fian.smr.ru