

DOI: 10.17586/1023-5086-2024-91-03-23-31

УДК 535.44

Генерация оптического вихря второго порядка в поляризационном интерферометре

АНАСТАСИЯ АЛЕКСАНДРОВНА РЫЖАЯ¹, ЕКАТЕРИНА КОНСТАНТИНОВНА ЮРЬЕВА²,
БОРИС АЛЕКСЕЕВИЧ ЕВТУШЕНКО³, ДАНИИЛ ВАЛЕРЬЕВИЧ САФРОНОВ⁴,
АЛЕКСАНДР АЛЕКСЕЕВИЧ СЕВРЮГИН⁵, ЕГОР ВАДИМОВИЧ ШАЛЫМОВ⁶,
ВЛАДИМИР ЮРЬЕВИЧ ВЕНЕДИКТОВ⁷✉, АНДРЕЙ ЛЕОНИДОВИЧ СОКОЛОВ⁸, ХОН СОН⁹

^{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7}Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ», Санкт-Петербург, Россия

⁴Самаркандский государственный университет, Самарканд, Узбекистан

⁸Научно-производственная корпорация «Системы прецизионного приборостроения», Москва, Россия

⁹Чжэцзянский океанический университет, Чжоушань, Китай

¹ryzhaya.nastya1999@gmail.com <https://orcid.org/0000-0001-9574-1802>

²yuryeva_katya@mail.ru <https://orcid.org/0009-0001-8218-3546>

³boris.ilory@gmail.com <https://orcid.org/0009-0003-3961-3437>

⁴daniilsafronov@gmail.com <https://orcid.org/0000-0003-0214-0990>

⁵sevr_sasha@mail.ru <https://orcid.org/0000-0002-5982-7892>

⁶shev1989@yandex.ru <https://orcid.org/0000-0002-0731-6978>

⁷vlad.venediktov@mail.ru <https://orcid.org/0000-0002-0728-2050>

⁸alsokolov@bk.ru <https://orcid.org/0000-0001-6164-7615>

⁹hongsong@zju.edu.cn <https://orcid.org/0000-0002-1000-4764>

Аннотация

Предмет исследования. Способ генерации оптического вихря и его анализ в дальней зоне дифракции с использованием лучей, отраженных от комбинации двух ретрорефлекторов (кубических уголкового отражателей) со специальным интерференционным фазосдвигающим покрытием, входящих в состав поляризационного интерферометра. При правильном расположении кубических уголкового отражателей относительно друг друга происходит формирование оптического вихря второго порядка. **Цель работы.** Экспериментальное подтверждение предсказанной ранее теоретической возможности получения оптического вихря в ближней и дальней зонах дифракции, а также проведение их визуального анализа. **Метод.** Созданные в работе схемы позволяют сгенерировать оптические вихри второго порядка в ближней и дальней зонах дифракции. Для анализа полученных картин использовался интерферометр сдвига. **Основные результаты.** Представлены схемы установок для формирования оптического вихря и его анализа. Экспериментальные результаты показывают, что фазовые и поляризационные распределения полученных картин соответствуют результатам теоретических исследований. **Практическая значимость.** Оптические вихри применяют в целях микроманипуляции и передачи данных. Предложенный метод генерации, несмотря на ряд ограничений, может быть полезен в ряде задач, в частности, при необходимости быстрого включения и выключения вихря, при использовании монохроматического света, а также при манипуляциях с запутанными фотонами.

Ключевые слова: структурированный свет, оптический вихрь, ретрорефлекторы, кубические уголкового отражатели, поляризация света, поляризационный интерферометр, дальняя зона, дифракционная картина дальнего поля

Ссылка для цитирования: Рыжая А.А., Юрьева Е.К., Евтушенко Б.А., Сафронов Д.В., Севрюгин А.А., Шалымов Е.В., Венедиктов В.Ю., Соколов А.Л., Сон Х. Генерация оптического вихря второго порядка в поляризованном интерферометре // Оптический журнал. 2024. Т. 91. № 3. С. 23–31. <http://doi.org/10.17586/1023-5086-2024-91-03-23-31>

Коды OCIS: 260.3160, 050.4865

Generation of a second-order optical vortex in a polarization interferometer

ANASTASIA A. RYZHAYA¹, EKATERINA K. IUREVA², BORIS A. EVTUSHENKO³,
DANIIL V. SAFRONOV⁴, ALEXANDER A. SEVRYUGIN⁵, EGOR V. SHALYMOV⁶,
VLADIMIR YU. VENEDIKTOV⁷✉, ANDREY L. SOKOLOV⁸, HONG SONG⁹

^{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7}*Saint-Petersburg State Electrotechnical University "LETI", St. Petersburg, Russia*

⁴*Samarkand State University, Samarkand, Uzbekistan*

⁸*Scientific and Production Corporation "Precision Instrument Engineering Systems", Moscow, Russia*

⁹*Zhejiang Ocean University, Zhoushan, China*

¹*ryzhaya.nastya1999@gmail.com*

<https://orcid.org/0000-0001-9574-1802>

²*yuryeva_katya@mail.ru*

<https://orcid.org/0009-0001-8218-3546>

³*boris.ilory@gmail.com*

<https://orcid.org/0009-0003-3961-3437>

⁴*daniilsafronov@gmail.com*

<https://orcid.org/0000-0003-0214-0990>

⁵*sevr_sasha@mail.ru*

<https://orcid.org/0000-0002-5982-7892>

⁶*shev1989@yandex.ru*

<https://orcid.org/0000-0002-0731-6978>

⁷*vlad.venediktov@mail.ru*

<https://orcid.org/0000-0002-0728-2050>

⁸*alsokolov@bk.ru*

<https://orcid.org/0000-0001-6164-7615>

⁹*hongsong@zju.edu.cn*

<https://orcid.org/0000-0002-1000-4764>

Abstract

Subject of study. A method for generating an optical vortex and its analysis in far-field diffraction using rays reflected from a combination of two retroreflectors (cubic corner reflectors) with a special interference phase-shifting coating that are part of a polarization interferometer. When the cubic corner reflectors are positioned correctly relative to each other, a second-order optical vortex is formed. **Aim of study.** Experimental confirmation of the previously predicted theoretical possibility of obtaining an optical vortex in the near and far diffraction zones, as well as conducting their visual analysis. **Method.** The schemes created in this work make it possible to generate second-order optical vortices in the near and far diffraction zones. **Main results.** Schemes of installations for the formation of an optical vortex and its analysis are presented. The results show that the phase and polarization distributions of the obtained patterns correspond to theoretical studies. **Practical significance.** Optical vortices are used for micromanipulation and data transmission purposes. The proposed generation method, despite a number of limitations, can be useful in a number of tasks — in particular, when it is necessary to quickly turn on and off the vortex, when using non-monochromatic light, as well as when manipulating entangled photons.

Keywords: structured light, optical vortex, retroreflectors, cubic corner reflectors, polarization of light, polarization interferometer, far field, far field diffraction pattern

For citation: Ryzhaya A.A., Iureva E.K., Evtushenko B.A., Safronov D.V., Sevryugin A.A., Shalymov E.V., Venediktov V.Yu., Sokolov A.L., Song H. Generation of a second-order optical vortex in a polarization interferometer [in Russian] // *Opticheskii Zhurnal*. 2024. V. 91. № 3. P. 00–00. <http://doi.org/10.17586/1023-5086-2024-91-03-23-31>

OCIS codes: 260.3160, 050.4865

ВВЕДЕНИЕ

Различные методы генерации оптических вихрей (ОВ) представляют большой интерес [1, 2], несмотря на то, что уже известно множество способов их генерации. Дальнейшее масштабное внедрение ОВ в различные области науки и техники требует создания быстродействующих и недорогих систем. В настоящей статье рассматривается экспериментальное подтверждение одного из ранее предложенных методов, обладающего высокой энергетической эффективностью, не имеющего при этом жестких ограничений на диапазон допустимых длин волн излучения.

Согласно результатам работы [3], в случае если на систему из двух ретрорефлекторов, или кубических уголкового отражателя (КУО), со специальным фазосдвигающим покрытием падает излучение с круговой поляризацией, то на выходе, в дальней зоне дифракции должен образоваться скалярный ОВ с топологическим зарядом 2. Дифракция в дальней зоне напрямую зависит от размера, угла между поверхностями, покрытия ретрорефлектора, а также от параметров падающего излучения. Для получения более подробной информации о КУО и поляризационных эффектах можно обратиться к публикации [4].

Для определения топологического заряда в настоящей статье предлагается использовать интерферометр сдвига, подробное описание которого применительно к ОВ можно найти в работе [5], а также в статье нашей группы [6].

Целью работы, результаты которой представлены в настоящей статье, являются экспериментальное подтверждение предсказанной ранее теоретической возможности получения ОВ в ближней и дальней зонах дифракции, а также проведение их визуального анализа.

СИСТЕМА КУБИЧЕСКИХ РЕТРОРЕФЛЕКТОРОВ С ФАЗОСДВИГАЮЩИМ ПОКРЫТИЕМ

Подробно теория работы кубических ретрорефлекторов была описана в работе [4]. Здесь же приведены некоторые краткие сведения из упомянутой статьи [3], чтобы упростить читателю понимание использованной в настоящей работе экспериментальной установки.

На рис. 1а изображена схема оптического устройства, которое представляет собой стек-

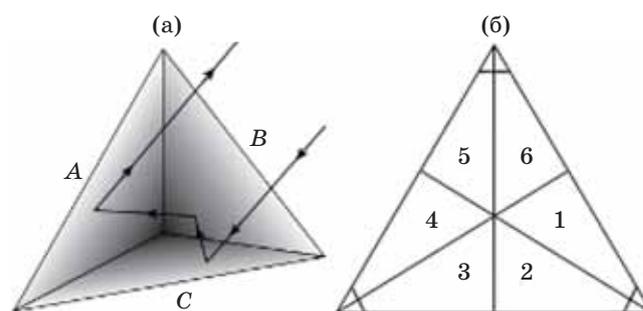


Рис. 1. Ход лучей в уголкового отражателе (а) и нумерация каждой из поверхностей (б)

Fig. 1. (a) The rays course in the corner reflector and (b) the numbering of each of the surfaces

лянный оптический тетраэдр, отражающие плоскости которого почти перпендикулярны друг другу, подробное описание которых представлено в публикации [7]. Суть метода использования заключается в том, что КУО за счет эффекта полного внутреннего отражения отражают падающее излучение строго в обратном направлении. Отражение от граней происходит три раза, что приводит к троекратному изменению фазы падающего излучения. Каждая из граней характеризуется своим значением изменения фазы.

На отражающие грани тетраэдра нанесено специальное фазосдвигающее покрытие. Первый диэлектрический слой, примыкающий к поверхности призмы, должен иметь показатель преломления больше показателя преломления материала призмы.

Фронт падающего излучения разделяется на шесть компонент при отражении от КУО (рис. 1б, 2), каждая из них характеризуется своим состоянием поляризации и фазовым сдвигом. Затем при полном внутреннем отражении пучки интерферируют и расширяются за счет дифракции, что приводит к образованию сложной дифракционной картины в ее дальней зоне [8].

Ортогональные составляющие комплексной амплитуды полностью поляризованного поляризованно-неоднородного пучка будут представлены в виде набора когерентных мод Эрмита–Гаусса с различными амплитудами, фазами и поляризациями

$$\begin{pmatrix} E_x \\ E_y \end{pmatrix} = D_{00}G_{00} + \dots + D_{M0}G_{M0} + \\ + D_{01}G_{01} + \dots + D_{M1}G_{M1} + \dots + D_{MN}G_{MN},$$

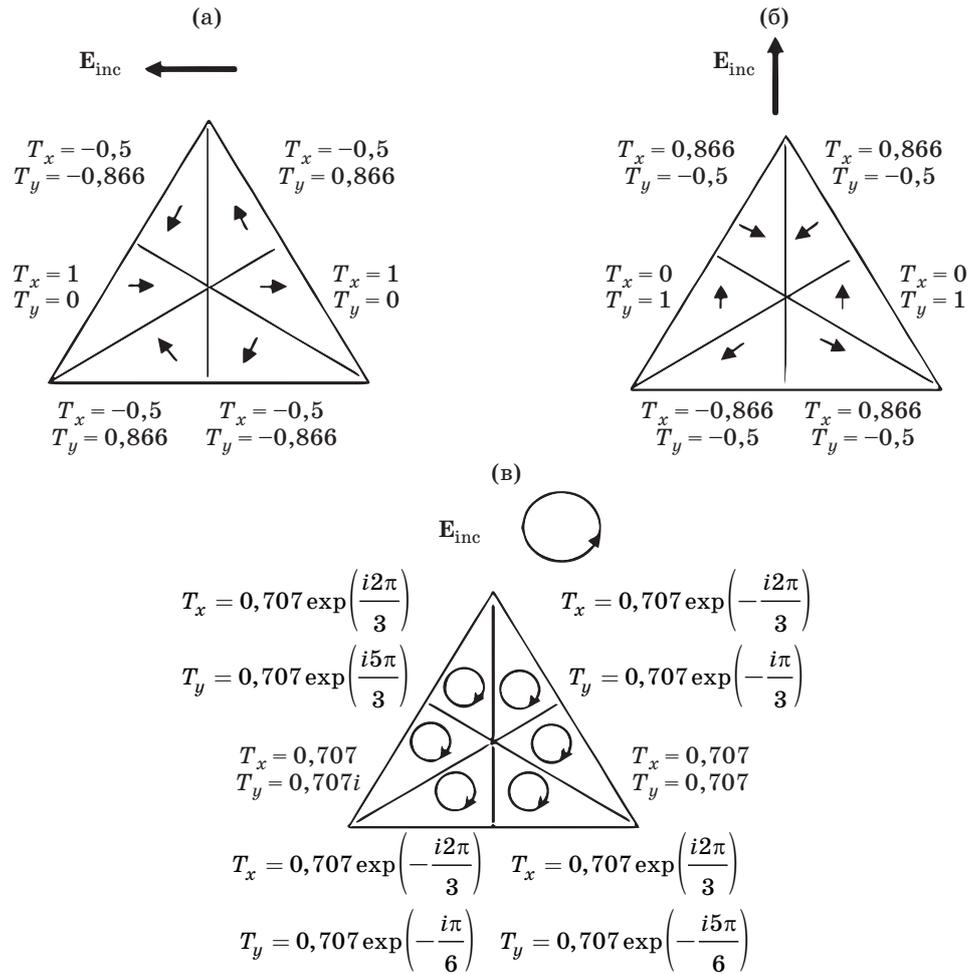


Рис. 2. Состояния поляризации и коэффициенты пропускания (T_x , T_y) углового отражателя с фазосдвигающим покрытием, нулевой сдвиг, E_{inc} — поляризация входящего пучка. Структуры поляризации отраженного пучка при линейно-горизонтальной (а), линейно-вертикальной (б) и правой круговой (в) поляризациях

Fig. 2. Polarization states and the transmission coefficients (T_x , T_y) for corner reflectors with a special phase shift coating, zero shift, E_{inc} is incoming beam polarization. The reflected beam polarization structures for (a) linear horizontal, (б) linear vertical, (в) right circular polarization of the incoming beam

где D_{mn} ($m = 0, 1, \dots, M$, $n = 0, 1, \dots, N$) — компоненты вектора Джонсона, G_{mn} ($m = 0, 1, \dots, M$, $n = 0, 1, \dots, N$) — описываются следующим выражением:

$$G_{mn} = g_{mn} H_m(\sqrt{2}(x/\omega)) \times \\ \times H_n(\sqrt{2}(y/\omega)) \exp\left[-(ik/2)Qr^2\right],$$

где H_m , H_n — полиномы Эрмита, m , n — порядок полинома Эрмита, r — радиус пучка, $Q = \rho - i\beta$, $\rho = 1/R$ — кривизна волновой поверхности, $\beta = 2/(k\omega^2)$, $k = 2\pi/\lambda$, λ — длина волны излучения.

В статье [3] приведена, в частности, схема эксперимента, в котором КУО с фазосдвига-

ющим покрытием обеспечивает нулевой фазовый сдвиг между компонентами вектора E , поэтому состояние поляризации отраженного поляризационно-неоднородного пучка имеет осесимметричную структуру.

ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЙ ИНТЕРФЕРОМЕТР И СТРУКТУРИРОВАННЫЙ СВЕТ

В качестве экспериментальной установки использована модификация поляризационного интерферометра (рис. 3). В статье [3] подробно описаны основные свойства и функции работы данного устройства.

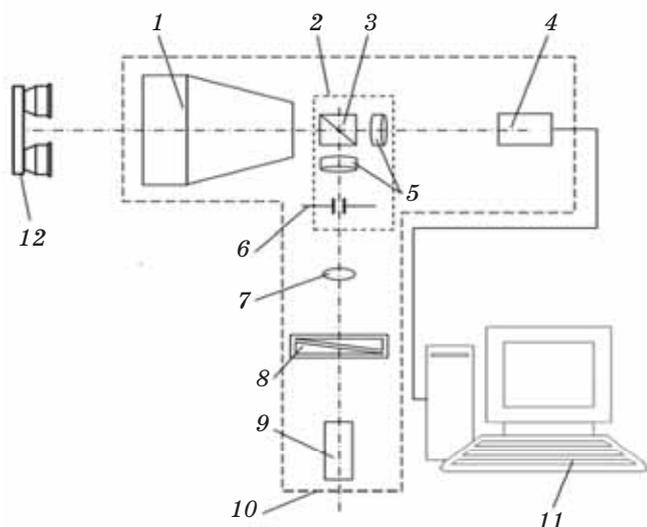


Рис. 3. Схема поляризационного интерферометра. 1 — длиннофокусный объектив (коллиматор), 2 — оптический блок, 3 — светоделительный куб, 4 — видеокамера, 5 — объективы, 6 — диафрагма, 7 — объектив, 8 — фильтр, 9 — лазер, 10 — автоколлимационная система, 11 — компьютер, 12 — ретрорефлекторная система

Fig. 3. The polarization interferometer scheme. (1) Long-focus lens (collimator), (2) optical block, (3) beam-splitting cube, (4) video camera, (5) lenses, (6) aperture, (7) lens, (8) filter, (9) laser, (10) autocollimation system, (11) computer, (12) retroreflector system

Особенность данного устройства заключается в том, что за его основу взят интерферометр Майкельсона, в котором зеркала были заменены на КУО.

Полученная установка работает аналогично световозвращающему пространственно-поляризационному интерферометру, основанному на интерферометре Рэлея. В качестве собирающего и разделяющего устройства применяется светоделительный куб, который сохраняет поляризацию, что позволяет обеспечить требуемое распределение поляризации двух пучков, отраженных от КУО. Поляризационные свойства световозвращающего пространственно-поляризационного интерферометра описываются как спиральный вращатель поляризации, порядок и знак которого меняются в зависимости от углового расстояния от оси пучка. В дополнение к этому из-за дифракции и интерференции между ними будет формироваться сложная дифракционная картина дальнего поля.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

На рис. 4 приведена схема первой экспериментальной установки, используемой нами для формирования скалярного вихря в ближней зоне дифракции. В качестве источника используется HeNe лазер, далее устанавливается круговой поляризатор (линейный поляризатор и четвертьволновая пластинка), с которого пучок проходит на коллиматор. Неполаризующий светоделительный куб равномерно распределяет луч на два ретрорефлектора, при этом один из них повернут на угол 180° . Для того чтобы определить, имеет ли результирующий луч фазовую структуру, подобную ОВ с топологическим зарядом 2, его направляли с помощью зеркала на интерферометр сдвига, состоящий из светоделительного куба и двух зеркал. Для наблюдения за результатами использовалась либо видеокамера, либо обычный экран. Полученное изображение результирующего пучка приведено на рис. 5.

Несмотря на высокие аберрации, на этих изображениях можно увидеть вилообразные узоры, указывающие на то, что результирующий пучок действительно имеет фазовую структуру, подобную оптическому вихрю с топологическим зарядом 2.

Вторым шагом было изменение экспериментальной установки с целью исследования дифракционной картины дальнего поля системы ретрорефлекторов как с линейной,

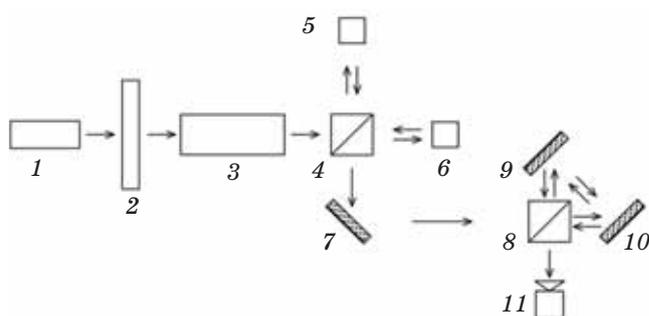


Рис. 4. Схема экспериментальной установки, этап 1. 1 — HeNe лазер, 2 — круговой поляризатор (линейный поляризатор и четвертьволновая пластинка), 3 — коллиматор, 4, 8 — светоделительные кубы, 5, 6 — ретрорефлекторы, 7, 9, 10 — зеркала, 11 — камера

Fig. 4. Scheme of the experimental setup, stage 1. (1) HeNe laser, (2) circular polarizer (linear polarizer and quarter-wave plate), (3) collimator, (4), (8) are beam-splitting cubes, (5), (6) are retroreflectors, (7), (9), (10) are mirrors, (11) camera

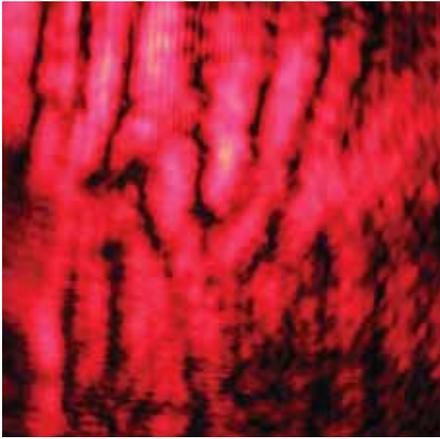


Рис. 5. Фотография фазовой структуры, полученная с помощью интерферометра сдвига и использованием луча с круговой поляризацией, отраженного от двух ретрорефлекторов

Fig. 5. Phase structure image which is obtained from a shear interferometer with the use of a circularly polarized beam reflected from two retroreflectors

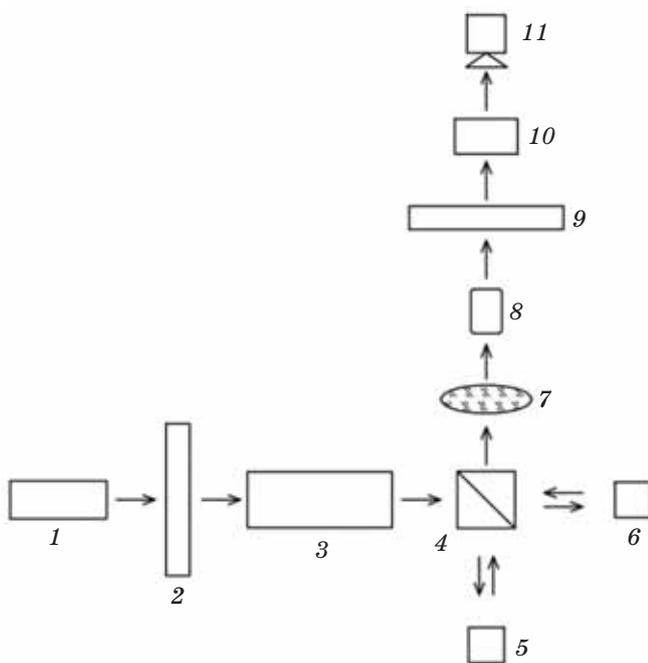


Рис. 6. Схема экспериментальной установки, этап 2. 1 — HeNe лазер, 2, 9 — линейные поляризаторы, 3 — коллиматор, 4 — светоделительный куб, 5 и 6 — ретрорефлекторы, 7 и 8 — линзы, 10 — нейтрально-серый фильтр, 11 — камера

Fig. 6. Scheme of the experimental setup, stage 2. (1) HeNe laser, (2), (9) are linear polarizers, (3) collimator, (4) beam-splitting cube, (5), (6) are retroreflectors, (7), (8) are lenses, (10) neutral gray filter, (11) camera

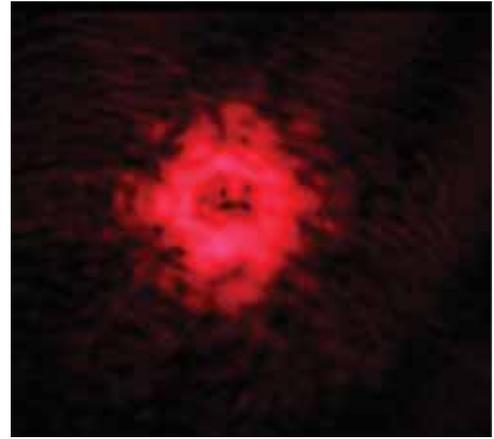


Рис. 7. Фотография дальней зоны пучка без линейных поляризаторов

Fig. 7. Photograph of the far beam zone without linear polarizers

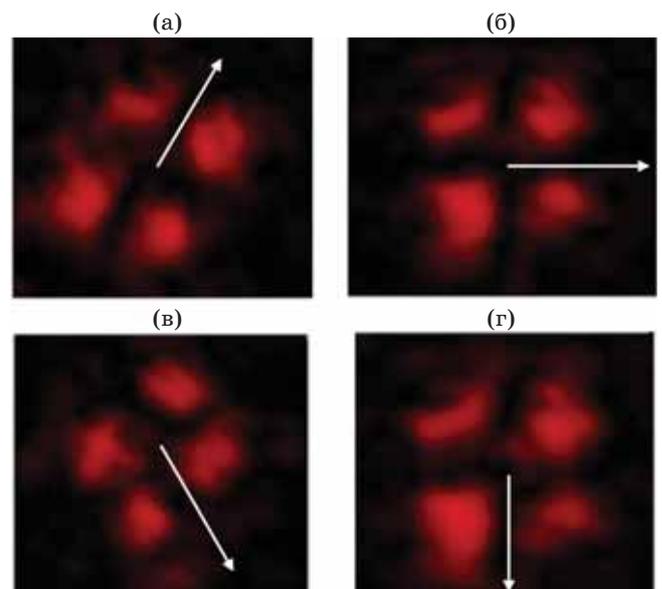


Рис. 8. Изображения оптического вихря, полученные при вращении линейного поляризатора на выходе системы угловых кубических отражателей на углы 30 (а), 90 (б), 150 (в), 180° (г)

Fig. 8. Images of optical vortices which are obtained by rotating a linear polarizer at the output of a system of angular cubic reflectors at angles of (a) 30, (б) 90, (в) 150, (г) 180°

так и с круговой поляризациями света. В итоге была получена установка, схема которой представлена на рис. 6. Поскольку ставилась задача сначала исследовать структуру поляризации, интерферометр сдвига был заменен

системой двух линз с эквивалентным фокусным расстоянием около 20 м.

На рис. 7 отображены результаты эксперимента, полученные без поляризатора, с отчетливым распределением интенсивности кольцеобразной формы, хоть и с некоторыми aberrациями. Добавление поляризатора привело к получению предсказанного в работе [1] изображения из 4 секторов (рис. 8), которые вращаются синхронно с вращением поляризатора.

В нашей установке (рис. 9) поляризатор был заменен на круговой (линейный поляризатор и четвертьволновая пластинка). Для анализа фазовой структуры пучка снова был использован интерферометр сдвига. На рис. 9 приведена результирующая схема установки, а на рис. 10 — полученные результаты эксперимента.

На фотографии (рис. 10) видны, во-первых, характерная для ОВ кольцеобразная картина интенсивности, и, во-вторых, (хоть и не очень

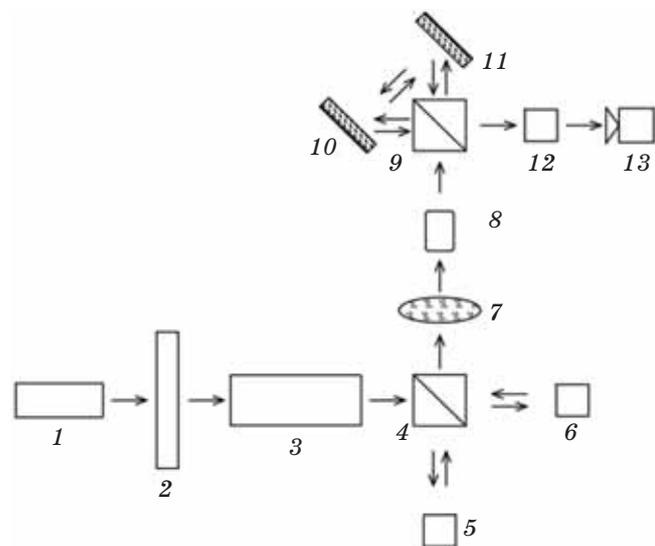


Рис. 9. Схема экспериментальной установки, этап 3. 1 — HeNe лазер, 2 — круговой поляризатор (линейный поляризатор и четвертьволновая пластинка), 3 — коллиматор, 4, 9 — светоделительные кубы, 5, 6 — ретрорефлекторы, 7, 8 — линзы, 10, 11 — зеркала, 12 — нейтрально-серый фильтр, 13 — камера

Fig. 9. Scheme of the experimental setup, stage 3. (1) HeNe laser, (2) circular polarizer (linear polarizer and quarter-wave plate), (3) collimator, (4), (9) are beam-splitting cubes, (5), (6) are retroreflectors, (7), (8) are lenses, (10), (11) are mirrors, (12) neutral gray filter, (13) camera

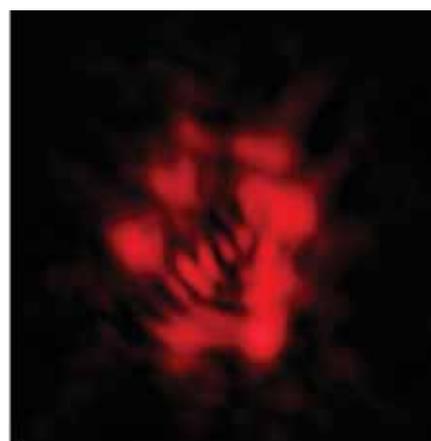


Рис. 10. Фотография оптического вихря, полученная в дальнем поле дифракции с помощью интерферометра сдвига

Fig. 10. Image of an optical vortex which is obtained in the far field diffraction with the use of a shift interferometer

отчетливо) вилкообразная интерференционная картина, подтверждающая наличие топологического заряда 2.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе представлены результаты экспериментального исследования формирования оптического вихря, сформированного с помощью кругового поляризатора и системы из двух ретрорефлекторов со специальным фазосдвигающим покрытием. Опираясь на теоретические данные, были получены изображения скалярного вихря в ближней зоне при вращении линейного поляризатора, а также в дальней зоне дифракции. Полученные результаты в дальней зоне соответствуют теоретическому представлению, описанному в статье [1].

В дальнейшем предполагается проверить работу экспериментальной установки, заменив интерферометр сдвига на модовый конвертор, который является более подходящим для определения топологического заряда в дальней зоне дифракции. Предложенный метод генерации, несмотря на ряд ограничений, может быть полезен в ряде задач, в частности, при необходимости быстрого включения и выключения вихря, при использовании монохроматического света, а также при манипуляциях с запутанными фотонами.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Rubinsztein-Dunlop H., Forbes A., Berry M.V., et al. Roadmap on structured light // *J. Opt.* 2017. V. 19. № 1. P. 013001. <https://doi.org/10.1088/2040-8978/19/1/013001>
- Bliokh K.Y., Karimi E., Padgett M.J., et al. Roadmap on structured waves // *J. Opt.* 2023. V. 25. № 10. P. 103001. <https://doi.org/10.1088/2040-8986/acea92>
- Sokolov A.L., Murashkin V.V. Retroreflective spatial-polarization interferometer // *Appl. Opt.* 2020. V. 59. № 32. P. 9912–9923. <https://doi.org/10.1364/AO.40323>
- Ищенко Е.Ф., Соколов А.Л. Поляризация оптика. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2019. 576 с.
- Котляр В.В., Ковалев А.А. Топологический заряд оптических вихрей. Самара: Новая техника, 2021. 185 с.
- Gavril'eva K.N., Mermoul A., Sevryugin A.A., et al. Detection of optical vortices using cyclic, rotational and reversal shearing interferometers // *Opt. & Laser Technol.* 2019. V. 113. P. 374–378. <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2019.01.006>
- Соколов А.Л., Мурашкин В.В., Акентьев А.С. и др. Уголковые отражатели с интерференционным диэлектрическим покрытием // *Квант. электрон.* 2013. Т. 43. № 9. С. 795–799.
- Венедиктов В.Ю., Гаврильева К.Н., Гудин Ю.С. и др. Поляризационный интерферометр и структурированный свет // *Фотоника.* 2022. Т. 16. № 3. С. 226–234.

АВТОРЫ

Анастасия Александровна Рыжая — аспирант, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ», Санкт-Петербург, 197022, Россия; <https://orcid.org/0000-0001-9574-1802>; ryzhaya.nastya1999@gmail.com

Екатерина Константиновна Юрьева — студент, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ», Санкт-Петербург, 197022, Россия; <https://orcid.org/0009-0001-8218-3546>; yuryeva_katya@mail.ru

Борис Алексеевич Евтушенко — аспирант, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ», Санкт-Петербург, 197022, Россия; <https://orcid.org/0009-0003-3961-3437>; boris.ilory@gmail.com

Даниил Валерьевич Сафронов — кандидат технических наук, доцент, Самаркандский государственный университет, Самарканд, Узбекистан; доцент, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ», Санкт-Петербург, 197022, Россия; Scopus ID: 55441484800; <https://orcid.org/0000-0003-0214-0990>; daniilsafronov@gmail.com

Александр Алексеевич Севрюгин — кандидат физико-математических наук, старший преподаватель, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ», Санкт-Петербург, 197022, Россия; Scopus ID: 56352113900; <https://orcid.org/0000-0002-5982-7892>; sevr_sasha@mail.ru

Егор Вадимович Шалымов — кандидат технических наук, доцент, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ», Санкт-Петербург, 197022, Россия; Scopus ID: 56315355700; <https://orcid.org/0000-0002-0731-6978>; shev1989@yandex.ru

Владимир Юрьевич Венедиктов — доктор физико-математических наук, профессор, профессор Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ», Санкт-Петербург, 197022, Россия; Scopus ID: 7004670701; <https://orcid.org/0000-0002-0728-2050>; vlad.venediktov@mail.ru

REFERENCES

- Rubinsztein-Dunlop H., Forbes A., Berry M.V., et al. Roadmap on structured light // *J. Opt.* 2017. V. 19. № 1. P. 013001. <https://doi.org/10.1088/2040-8978/19/1/013001>
- Bliokh K.Y., Karimi E., Padgett M.J., et al. Roadmap on structured waves // *J. Opt.* 2023. V. 25. № 10. P. 103001. <https://doi.org/10.1088/2040-8986/acea92>
- Sokolov A.L., Murashkin V.V. Retroreflective spatial-polarization interferometer // *Appl. Opt.* 2020. V. 59. № 32. P. 9912–9923. <https://doi.org/10.1364/AO.40323>
- Ishchenko E.F., Sokolov A.L. Polarized optics [in Russian]. Moscow: FIZMATLIT Publ., 2019. 576 p.
- Kotlyar V.V., Kovalev A.A., Nalimov A.G. Topological charge of optical vortices. Boca Raton: CRC Press, 2023. 301 p. <https://doi.org/10.1201/9781003326304>
- Gavril'eva K.N., Mermoul A., Sevryugin A.A., et al. Detection of optical vortices using cyclic, rotational and reversal shearing interferometers // *Opt. & Laser Technol.* 2019. V. 113. P. 374–378. <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2019.01.006>
- Sokolov A.L., Murashkin V.V., Akent'ev A.S., et al. Corner reflectors with interference dielectric coating [in Russian] // *Quant. Electron.* 2013. V. 43. № 9. P. 795–799.
- Venediktov V.Yu., Gavril'eva K.N., Gudim Yu.S., et al. Polarization interferometer and structured light // *Photonics Russia.* 2022. V. 16. № 3. P. 226–234. <https://doi.org/10.22184/1993-7296.FRos.2022.16.3.226.234>

AUTHORS

Anastasia A. Ryzhaya — PhD Student, Saint-Petersburg State Electrotechnical University “LETI”, St. Petersburg, 197022, Russia; <https://orcid.org/0000-0001-9574-1802>; ryzhaya.nastya1999@gmail.com

Ekaterina K. Iureva — Student, Saint-Petersburg State Electrotechnical University “LETI”, St. Petersburg, 197022, Russia; <https://orcid.org/0009-0001-8218-3546>; yuryeva_katya@mail.ru

Boris A. Evtushenko — PhD Student, Saint-Petersburg State Electrotechnical University “LETI”, St. Petersburg, 197022, Russia; <https://orcid.org/0009-0003-3961-3437>; boris.ilory@gmail.com

Daniil V. Safronov — PhD (Engineering), Associate Professor, Samarkand State University, Samarkand, Uzbekistan; Associate Professor, Saint-Petersburg State Electrotechnical University “LETI”, St. Petersburg, 197022, Russia; Scopus ID: 55441484800; <https://orcid.org/0000-0003-0214-0990>; daniilsafronov@gmail.com

Alexander A. Sevryugin — PhD (Physics and Mathematics), Senior Lecturer, Saint-Petersburg State Electrotechnical University “LETI”, St. Petersburg, 197022, Russia; Scopus ID: 56352113900; <https://orcid.org/0000-0002-5982-7892>; sevr_sasha@mail.ru

Egor V. Shalymov — PhD (Engineering), Associate Professor, Saint-Petersburg State Electrotechnical University “LETI”, St. Petersburg, 197022, Russia; Scopus ID: 56315355700; <https://orcid.org/0000-0002-0731-6978>; shev1989@yandex.ru

Vladimir Yu. Venediktov — Dr. Sci. (Physics and Mathematics), Full Professor, Professor of the Saint-Petersburg State Electrotechnical University “LETI”, St. Petersburg, 197022, Russia; Scopus ID: 7004670701; <https://orcid.org/0000-0002-0728-2050>; vlad.venediktov@mail.ru

Андрей Леонидович Соколов — доктор технических наук, профессор, руководитель направления, Научно-производственная корпорация «Системы прецизионного приборостроения», Москва, Россия; ScopusID: 56249160100, <https://orcid.org/0000-0001-6164-7615>, alsokolov@bk.ru

Хон Сон — кандидат наук, доцент, Чжэцзянский океанический университет, Чжоушань, 316021, Китай; Scopus ID: 55365657800; <https://orcid.org/0000-0002-1000-4764>, hongsong@zju.edu.cn

Статья поступила в редакцию 18.10.2023
Одобрена после рецензирования 28.12.2023
Принята к печати 28.01.2024

Andrey L. Sokolov — Dr. Sci. (Engineering), Full Professor, Head of Department, JSC Scientific and Production Corporation “Precision system and Instruments”, Moscow, Russia; Scopus ID: 56249160100; <https://orcid.org/0000-0001-6164-7615>; alsokolov@bk.ru

Hong Song — PhD, Associate Professor, Zhejiang Ocean University, Zhoushan, 316021, China; Scopus ID: 55365657800; <https://orcid.org/0000-0002-1000-4764>; hongsong@zju.edu.cn

The article was submitted to the editorial office 18.10.2023
Approved after review 28.12.2023
Accepted for publication 28.01.2024