

УДК 535:628.373.8,535:548

ПАРАМЕТРЫ БЕССЕЛЕВЫХ СВЕТОВЫХ ПУЧКОВ НУЛЕВОГО И ПЕРВОГО ПОРЯДКОВ, СФОРМИРОВАННЫХ ИЗ ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА, ПРОШЕДШЕГО ЧЕРЕЗ СРЕДУ С ИЗМЕНЯЮЩИМИСЯ ВО ВРЕМЕНИ ОПТИЧЕСКИМИ НЕОДНОРОДНОСТЯМИ

Рыжевич А.А.¹, Балыкин И.В.¹, Машенко А.Г.¹, Казак Н.С.^{1,2}

¹Институт физики имени Б.И. Степанова НАН Беларуси

²ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника»

Минск, Республика Беларусь

Аннотация. После прохождения лазерного пучка через среду с оптическими неоднородностями он претерпевает изменения в поперечных распределениях фазы и амплитуды. У сформированного из него бесселева светового пучка (БСП) 0-го либо 1-го порядка параметры качества становятся хуже, чем были бы при отсутствии в среде оптических неоднородностей. Если неоднородности изменяются во времени, изменяются и параметры качества БСП, что можно использовать для объективной оценки изменений, происходящих в среде. Разные типы параметров качества в разных сечениях БСП отличаются по чувствительности к изменениям среды, поэтому можно выбрать оптимальный тип параметра качества для оценки изменений в среде, исходя из величины этих изменений.

Ключевые слова: Бесселев световой пучок, параметр качества бесселева светового пучка, среда с оптическими неоднородностями.

PARAMETERS OF ZERO AND FIRST ORDER BESSEL LIGHT BEAMS FORMED FROM A LASER BEAM PASSED THROUGH THE MEDIUM WITH TIME-VARING OPTICAL INHOMOGENEITIES

Ryzhevich A.¹, Balykin I.¹, Mashchenko A.¹, Kazak N.^{1,2}

¹*B.I. Stepanov Institute of Physics of the National Academy of Sciences of Belarus*

²*The State Scientific and Production Association "Optics, Optoelectronics and Laser Technology"*

Minsk, Republic of Belarus

Abstract. As a result of the propagation of a laser light beam through a medium with optical inhomogeneities, it undergoes changes of the transverse phase and amplitude distributions. For a Bessel light beam (BLB) of zero or first order formed from it the quality parameters become worse than they would be in the absence of optical inhomogeneities in the medium. If the inhomogeneities of the environment change in time the quality parameters of the BLB also change. This regularity can be used for an objective estimation of changes occurring in the medium. Since different parameters in different cross-sections of BLB differ in sensitivity to environmental changes, it is possible to choose the optimal BLB quality parameter to assess changes in the medium basing on the magnitude of this change.

Key words: Bessel light beam, quality parameter of a Bessel light beam, medium with optical inhomogeneities.

Адрес для переписки: Рыжевич А.А., просп. Независимости, 68-2, Минск 220072, Республика Беларусь; e-mail: tol@dragon.bas-net.by

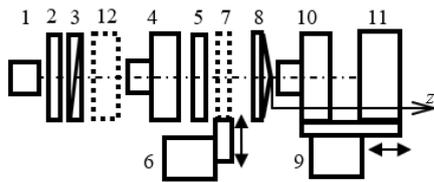
Введение. Бесселевы световые пучки (БСП) 0-го и 1-го порядков являются аксиально симметричными интерференционными световыми полями, радиальное распределение поля в которых описывается функциями Бесселя 1-го рода 0-го и 1-го порядков соответственно. Известно, что на качество БСП влияние оказывает качество исходного светового пучка, падающего на аксикон [1–4], и качество аксикона [2, 4]. Для определения качества БСП в [2–3] были предложены объективные числовые параметры: параметр круглости k_k , параметр постоянства k_{Π} и скорректированный коэффициент детерминации R^2 . Поскольку неоднородности в атмосфере и других прозрачных средах могут приводить к оптической неоднородности, в данной работе было проверено сделанное нами предположение, что параметры качества БСП, сформированного из светового пучка, прошедшего через среду с неоднородностями, будут отличаться от параметров качества БСП, сформированного из пучка, не проходившего через такую среду. Кроме того, исследована зависимость

параметров качества БСП от продольной координаты и порядка БСП.

Экспериментальная установка. Нами была собрана экспериментальная установка для исследования влияния среды с неоднородностями на качество БСП, сформированного из исходного гауссова светового пучка, прошедшего через эту среду (рис. 1). При наличии в схеме опционального универсального преобразователя 12, состоящего из последовательно установленных на оси пучка: широкополосного поляризатора (ШП) [5], ромба Френеля (РФ), двуосного кристалла, ориентированного вдоль биномали, второго РФ и второго ШП – в световом пучке, падающем на аксикон, формируется винтовая дислокация волнового фронта с целью получения за аксиконом БСП 1-го порядка [6]. При отсутствии имитатора турбулентности атмосферы 7 регистрировался БСП, сформированный без влияния неоднородностей среды. Кроме того, с помощью тепловентилятора мощностью 1 кВт формировался вариант среды с неоднородностями в виде турбулентностей при

частичном поперечном обдуве нагретым воздухом промежутка на месте убранного имитатора 7 (разница температур воздуха в нагретом потоке и промежутке составляла 8 °С).

Результаты и обсуждение. На рис. 2 показаны полученные оценки средних по 100 измерениям значений параметров качества k_K , k_{Π} и R^2 БСП 0-го порядка на различных расстояниях за аксиконом. Затененные полосы вдоль кривых обозначают области, в которую при измерении попадет с вероятностью 0,68 параметр качества, в случае, если полагать случайное распределение параметра качества гауссовым.

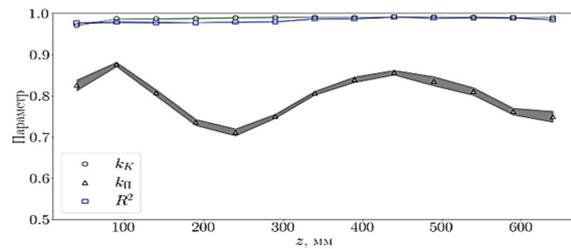


1 – лазер; 2 – полуволновая пластина; 3 – поляризатор;
4 – 20/10/5/2-кратный расширитель пучка/коллиматор;
5 – аттенуатор; 6 – моторизованный держатель;
7 – имитатор неоднородности атмосферы; 8 – аксикон;
9 – моторизованная платформа; 10 – микроскоп;
11 – CCD-камера, 12 – универсальный преобразователь

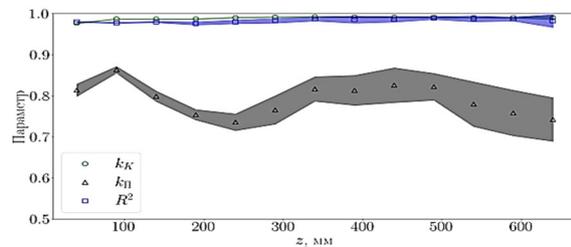
Рисунок 1 – Конструкция экспериментальной установки для исследования влияния среды с неоднородностями на качество бесселева светового пучка

Измерения показали, что оптические неоднородности на имитаторе приводят к ухудшению всех параметров качества БСП, причем наиболее чувствительным является параметр k_{Π} , а наименее чувствительным – параметр k_K . При регистрации БСП на большем расстоянии z чувствительность всех параметров увеличивается (рис. 2), что выражается в увеличении их среднеквадратичных отклонений. Кроме того, из рис. 2 видно, что имитатор турбулентности вносит в БСП более сильные искажения, чем слой нагретого воздуха. Зависимости параметров качества БСП 1-го порядка имеют аналогичный вид. Таким образом, параметры качества БСП, сформированного из прошедшего через среду лазерного пучка, можно использовать для объективной численной оценки характера оптической неоднородности среды. При этом для оценки сильных неоднородностей или очень протяженной среды следует использовать наименее чувствительный параметр k_K , а для слабых – наиболее чувствительный k_{Π} .

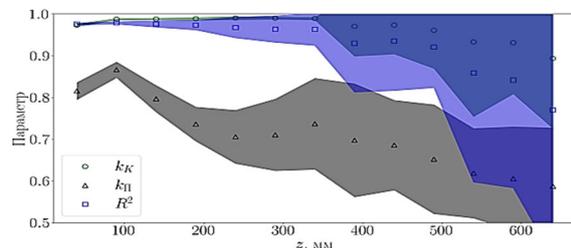
Благодарности. Работа выполнена в рамках задания 1.1 «Разработка методов и устройств диагностики материалов, процессов и изделий в оптическом и терагерцовом диапазонах спектра и их применение для оптической связи, микроскопии и определения характеристик различных объектов» (№ гос. рег. 20210300) ГПНИ «Фотоника и электроника для инноваций» (2021–2025 гг.).



а



б



в

а – однородный воздух; б – слой нагретого воздуха; в – имитатор турбулентности атмосферы

Рисунок 2 – Зависимость параметров качества БСП от расстояния z после аксикона

Литература

1. Simple method of laser beam quality analysis / A. A. Ryzhevich [et al.] // Lightmetry: Proc. SPIE, Pultusk, Poland, 5-9 June 2000 / Ed. by M. Pluta. – SPIE, 2000. – Vol. 4517. – P. 16–21.
2. Ryzhevich, A.A. Quality Parameters of Zero-Order Bessel Light Beams / A. A. Ryzhevich, I. V. Balykin, T. A. Zheleznyakova // J. of Appl. Spectr. – 2018. – Vol. 85, № 1. – P. 134–142.
3. Ryzhevich, A. A. Determination of the Quality Parameters of Higher-Order Bessel Light Beams / A. A. Ryzhevich, I. V. Balykin, T. A. Zheleznyakova // J. of Appl. Spectr. – 2021. – Vol. 88, №5 – P. 1020–1034.
4. Рыжевич, А. А. Определение параметра конусности бесселева светового пучка посредством Фурье-анализа диаметрального распределения интенсивности / А. А. Рыжевич, И. В. Балькин // Журнал Белорусского государственного университета. Физика. – 2022. – №1. – С. 20–34.
5. Broad-band polarizing light beam splitter based on a multilayer thin-film coating / V. E. Agabekov [et al.] // J. of Appl. Spectr. – 2021. – Vol. 88. – №4. – P. 816–824.
6. Ryzhevich, A. A. A new method for forming first-order Bessel light beams and the possibility of using them in nanotechnologies / A. A. Ryzhevich // Journal of Optical Technology – 2001. – V. 68, № 3. – P. 208.