

УДК 535.5:551.551

ОТКЛОНЕНИЕ ОСИ БЕССЕЛЕВА СВЕТОВОГО ПУЧКА, ПРОШЕДШЕГО ЧЕРЕЗ ИМИТАТОР ТУРБУЛЕНТНОСТИ АТМОСФЕРЫ

Рыжевич А. А.^{1,2}, Балькин И. В.¹, Макаревич А. П.¹, Железнякова Т. А.²

¹Институт физики НАН Беларуси

²Белорусский государственный университет
Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В настоящее время лазерное излучение активно используется для исследования и диагностики состояния атмосферы, в том числе ее турбулентности. Исследовано влияние имитатора турбулентности атмосферы (ИТА) на отклонение оси бесселевых световых пучков (БСП) нулевого и первого порядка, проходящих через ИТА. Получено, что при наличии крупномасштабной турбулентности ось БСП отклоняется, причем линейное отклонение растет при увеличении продольной координаты. Оси БСП нулевого и первого порядка отклоняются похожим образом, но получать и анализировать БСП первого порядка сложнее, поэтому для исследования турбулентности атмосферы целесообразно применять БСП нулевого порядка.

Ключевые слова: гауссов световой пучок, бесселев световой пучок, атмосфера, турбулентность, имитатор турбулентности атмосферы.

DEFLECTION OF AN AXIS OF A BESSEL LIGHT BEAM TRANSMITTED THROUGH AN ATMOSPHERE TURBULENCE SIMULATOR

Ryzhevich A.¹, Balykin I.¹, Makarevich A.¹, Zheleznyakova T.²

¹Institute of Physics of NAS of Belarus

²Belarusian State University
Minsk, Republic of Belarus

Abstract. At present, laser radiation is actively used to investigate and diagnose the state of the atmosphere, including its turbulence. The effect of atmosphere turbulence simulator (ATS) on the deviation of the axis of Bessel light beams (BLB) of the zero and the first order passing through ATS is studied. We found that in the presence of large-scale turbulence the BLB axis is deflected, and the linear deviation increases with an increase of the longitudinal coordinate. The axes of BLB of zero and first order are deflected similarly, but it is more difficult to obtain and analyze BLB of first order, therefore it is advisable to use BLB of the zero order to study atmospheric turbulence.

Key words: Gaussian light beam, Bessel light beam, atmosphere, turbulence, atmosphere turbulence simulator.

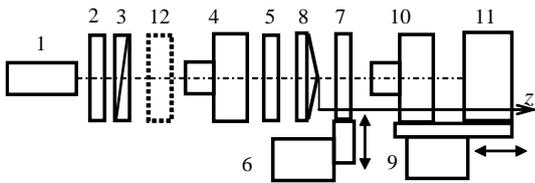
Адрес для переписки: Рыжевич А. А., пр. Независимости, 68-2, г. Минск 220072, Республика Беларусь
e-mail: tol@dragon.bas-net.by

Введение. Бесселевы световые пучки (БСП) 0-го (БСП₀) и 1-го (БСП₁) порядков являются аксиально симметричными интерференционными световыми полями, радиальное распределение интенсивности в которых описывается квадратом функций Бесселя 1-го рода 0-го и 1-го порядков соответственно. В [1] было показано, что после прохождения исходного гауссова лазерного пучка через имитатор турбулентности атмосферы (ИТА) положение оси БСП, сформированного из исходного пучка, изменяется. В данной работе исследуется влияние ИТА на положение оси непосредственно проходящего через него БСП.

Экспериментальная установка. Нами была собрана экспериментальная установка для исследования влияния среды с неоднородностями на параметры БСП, сформированного из исходного гауссова либо лаггерр-гауссова светового пучка. Конструкция экспериментальной установки схематически изображена на рисунке 1. Установка включает в себя гелий-неоновый лазер 1, формирующий гауссов световой пучок, поляризационный аттенюатор для плавной регулировки интенсивности света в исходном пучке, состоящий из полуволновой пластины 2 и поляризатора 3,

20/10/5/2-кратный расширитель/коллиматор 4 светового пучка, аттенюатор 5 на основе нейтральных стеклянных светофильтров, моторизованный для поперечного перемещения держатель 6 имитатора турбулентности атмосферы 7, аксикон 8 для формирования бесселева светового пучка, а также объединенные на одной отдельно моторизованной платформе 9 для продольного перемещения: микроскоп 10, и CCD-камера 11 для регистрации поперечного распределения интенсивности в формируемом БСП. На оси гауссова светового пучка опционально присутствует преобразователь 12 на основе двусосного кристалла для формирования лаггерр-гауссова светового пучка, содержащего винтовую дислокацию волнового фронта, с целью получения после аксикона 8 БСП₁. Без преобразователя 12 аксиконом 8 формируется БСП₀.

Моторизованный держатель 6 использовался нами для имитации поперечного ветра в соответствии с моделью «замороженной» атмосферы. Внесение такой имитации необходимо в контексте анализа статистических свойств наблюдаемых параметров качества при анализе реальной атмосферы.



1 – лазер; 2 – полуволновая пластина; 3 – поляризатор;
4 – расширитель/коллиматор; 5 – аттенюатор;
6 – моторизованный держатель; 7 – ИТА; 8 – аксикон;
9 – моторизованная платформа; 10 – микроскоп;
11 – CCD-камера; 12 – опциональный формирователь
лазер-гауссова светового пучка

Рисунок 1 – Конструкция экспериментальной
установки для исследования влияния ИТА
на параметры БСП

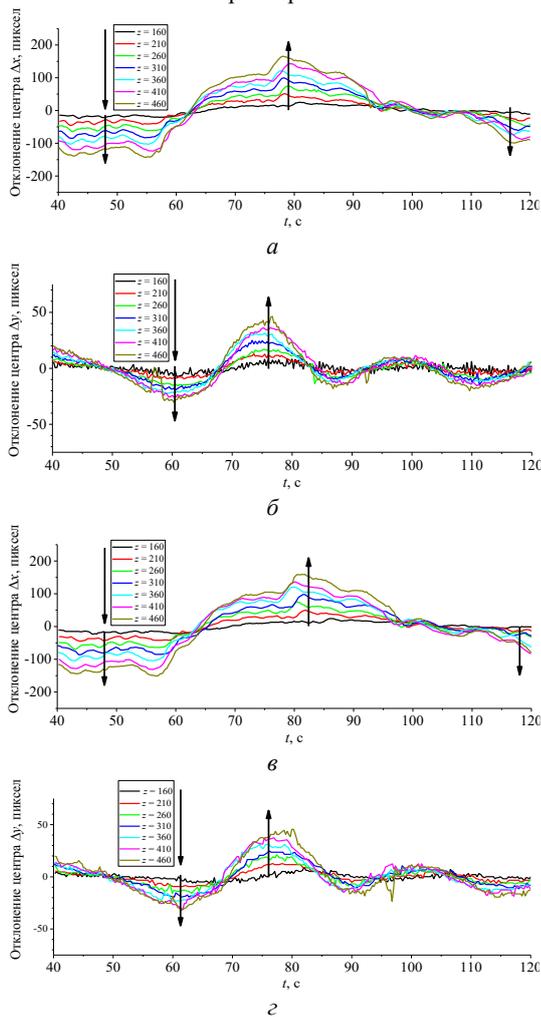


Рисунок 2 – Зависимость отклонения оси БСП₀ (а, б) и БСП₁ (в, г) от положения оси невзмущенного пучка по оси x (а, в) и по оси y (б, г) от времени сканирования для различных продольных координат

Положение оси БСП. Анализ параметров БСП, прошедшего через ИТА, производился после регистрации поперечных распределений интенсивности, формируемых на различных расстояниях z от

аксикона, в процессе поперечного перемещения имитатора атмосферы моторизованным держателем. Для последующей обработки нами были выбраны распределения при значениях продольной координаты от 160 до 460 мм с шагом 50 мм. Для определения положения оси на каждом кадре в силу особенностей распределения интенсивности в БСП₀ использовался метод моментов с учетом только пикселей, с интенсивностью большей, чем 0,8 от максимальной интенсивности на кадре. Для определения положения оси БСП₁ использовалась более сложная методика, детально описанная в [2]. На рисунке 2 показано, как изменяется с течением времени при линейном перемещении имитатора отклонение положения оси БСП₀ и БСП₁ относительно ее положения при отсутствии имитатора на разных расстояниях z от аксикона. Из рисунка 2 следует, что при наличии ИТА ось прошедшего через него БСП изменяет свое положение, причем линейное отклонение оси при прохождении пучка через одну и ту же область имитатора увеличивается с ростом продольной координаты.

Заключение. Наличие ИТА приводит к отклонению оси прошедшего через него БСП, которое можно измерять с большой точностью. Это дает возможность отслеживать крупномасштабную турбулентность прозрачной среды, размеры которой больше диаметра БСП, причем чувствительность данного метода возрастает при регистрации БСП на большем расстоянии от аксикона. Использование для этих целей более сложно формируемого и анализируемого БСП₁ не дает никаких преимуществ, поэтому в данном случае целесообразно применять БСП₀.

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 «Фото-ника и электроника для инноваций» (2021-2025 гг.).

Литература

1. Балыкин, И. В. Влияние имитатора атмосферы на положение оси бесселева светового пучка, сформированного из гауссова пучка, прошедшего через имитатор / И. В. Балыкин, А. А. Рыжевич. // Современные проблемы физики: сб. науч. трудов междунар. школы-конф. молодых ученых и специалистов, Минск, 24–26 апреля 2024 г. / Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси; под ред. Д. С. Василевской, Е. С. Жарниковой. – Минск: Ковчег, 2024. – С. 9–11.
2. Рыжевич, А. А. Определение параметров качества бесселевых световых пучков высших порядков / А. А. Рыжевич, И. В. Балыкин, Т. А. Железнякова // Журнал прикладной спектроскопии. – 2021. – Т. 88, № 5. – С. 792–806.