

УДК 535.3

ВЛИЯНИЕ АЗИМУТАЛЬНЫХ ОСЦИЛЛЯЦИЙ УГЛА КОНУСНОСТИ АКСИКОНА НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ И ФУРЬЕ-СПЕКТР БЕССЕЛЕВА СВЕТОВОГО ПУЧКА

Рыжевич А.А.¹, Балыкин И.В.¹, Варанецкий А.М.¹, Казак Н.С.^{1,2}

¹Институт физики НАН Беларуси

²ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника»

Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Исследовано влияние азимутальных осцилляций угла конусности аксикона на качество формируемого аксиконом бесселева светового пучка (БСП) и Фурье-спектр БСП (ФСБСП). С ростом амплитуды модуляции угла конусности B аксикона отклонения от распределения интенсивности в идеальном БСП становятся более выраженными, при этом число минимумов интенсивности, наблюдаемых в приосевом кольце при малом значении $B (\leq 0,05)$ в случае нечетного N равно N , а в случае четного – равно $2N$. При больших значениях $B (> 0,05)$ как в случае четного N , так и в случае нечетного N число минимумов в приосевом кольце пучка равно $2N$. Эллиптичность аксикона приводит к осцилляции интенсивности и значения пространственной частоты главной компоненты ФСБСП вдоль азимутальной координаты. Показано, что по азимутальной осцилляции пространственной частоты главной компоненты ФСБСП целесообразно определять амплитуду модуляции угла при основании аксикона.

Ключевые слова: бесселев световой пучок, параметр качества бесселева светового пучка, Фурье-спектр.

INFLUENCE OF AZIMUTHAL OSCILLATIONS OF THE AXICON CONE ANGLE ON THE INTENSITY DISTRIBUTION AND FOURIER SPECTRUM OF A BESSEL LIGHT BEAM

Ryzhevich A.A.¹, Balykin I.V.¹, Varanetskiy A.M.¹, Kazak N.S.^{1,2}

Institute of Physics of NAS of Belarus,

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

Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The influence of azimuthal oscillations of the axicon cone angle on the quality of the Bessel light beam (BLB) formed by the axicon and the Fourier spectrum of the BLB (FSBLB) has been studied. With increasing amplitude of modulation of the cone angle B of the axicon, deviations from the intensity distribution in an ideal BLB become more pronounced, while the number of intensity minima observed in the paraxial ring at a small value of $B (\leq 0.05)$ in the case of odd N is equal to N , and in the case of even N is equal to $2N$. At large values of $B (> 0.05)$ both in the case of even N and in the case of odd N , the number of minima in the paraxial ring of the beam is equal to $2N$. The ellipticity of the axicon leads to oscillation of the intensity and value of the spatial frequency of the main component of the FSBLB along the azimuthal coordinate. It is shown that it is advisable to determine the modulation amplitude of the angle at the base of the axicon from the azimuthal oscillation of the spatial frequency of the main component of the FSBLB.

Key words: Bessel light beam, quality parameter of a Bessel light beam, Fourier spectrum.

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

Введение. Для формирования бесселевых световых пучков (БСП) зачастую используются аксиконы. На данный момент невозможно изготовить аксикон идеально конической формы. Одним из отклонений формы аксикона от конической является наличие эллиптичности [1]. Под эллиптичностью понимается то, что поперечное сечение аксикона представляет собой эллипс. Ориентируем систему координат так, чтобы Ox и Oy совпадали с главными направлениями эллипса, ось Oz проходила через вершущку аксикона. В таком случае внешняя граница аксикона в сечении будет задаваться уравнением $\frac{x^2}{b_x^2} + \frac{y^2}{b_y^2} = 1$, где b_x, b_y – половины

длин главных осей эллипса. Тогда $\epsilon_a = 1 - b_x^2 / b_y^2$ – эксцентриситет аксикона (при условии $b_y > b_x$). С ростом продольной координаты и эксцентриситета поле за аксиконом искажается (таблица 1), поэтому

актуальной задачей является контроль формы аксиконов сразу после изготовления.

Таблица 1. Вид БСП в зависимости от значений координаты z и эксцентриситета ϵ_a .

$z, \text{ м}$	0,0100	0,0340
ϵ_a		
0,10		
0,18		

Поле при N осцилляциях угла конусности аксикона. Интерес также представляет случай, когда отклонения угла конусности аксикона носят периодический характер с большим количеством осцилляций, чем в случае эллиптичности, т. е. когда угол при основании аксикона $\alpha(\varphi) = \alpha_0(1 + B \cdot \sin(N\varphi))$, где N – число осцилляций, B – амплитуда модуляции угла при основании аксикона, α_0 – среднее значение угла при основании аксикона (таблица 2).

Таблица 2. БСП при различных значениях B и N

$B \backslash N$	0,005	0,014
2		
3		
4		

С ростом амплитуды модуляции угла конусности B наблюдаемые отклонения от распределения в идеальном пучке становятся более выраженными, при этом число минимумов интенсивности, наблюдаемых в приосевом кольце при малом значении $B (\leq 0,05)$ в случае нечетного N равно N , а в случае четного – равно $2N$. При больших значениях $B (> 0,05)$ как в случае четного N , так и в случае нечетного N число минимумов в приосевом кольце пучка равно $2N$.

Также нами построены поперечные распределения интенсивности в ФСБСП, формируемом эллиптическим аксиконом. При увеличении ϵ_a наблюдается сужение ФСБСП по оси y (таблица 3).

Таблица 3. ФСБСП при различных ϵ_a

ϵ_a	0,00	0,28
Фурье-спектр		

Для детального анализа ситуации были построены зависимости величин радиуса (соответствующего среднему значению пространственной

частоты) r_s , полуширины w_s и интенсивности I_s ФСБСП от азимутальной координаты (рисунок 1). Видно, что эллиптичность аксикона приводит к перераспределению энергии в спектре. «Уширение» аксикона в направлении y приводит к уменьшению угла отклонения парциальных волн в этом направлении и, следовательно, к снижению значения пространственной частоты главной компоненты спектра в этом направлении. Интенсивность компоненты в направлении y также снижается, а компоненты в направлении x , напротив, повышается.

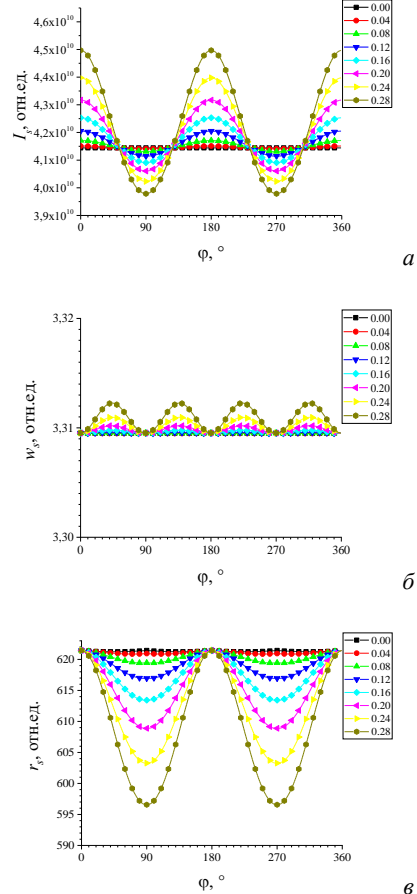


Рисунок 1 – Зависимость интенсивности I_s (а), полуширины w_s (б) и значения пространственной частоты r_s (в) главной компоненты спектра от угла φ

Заключение. Эллиптичность аксикона существенно влияет на распределение интенсивности и качество БСП, а в ФСБСП наиболее сильно проявляет себя в модуляции значения пространственной частоты главной компоненты спектра, в связи с чем по величине деформации кольца спектра можно судить об амплитуде модуляции угла конусности аксикона.

Литература

1. Wu, F. Effect of elliptical manufacture error of an axicon on the diffraction-free beam patterns / F. Wu // Optical Engineering. – 2008. – Vol. 47, № 8. – P. 083401.