

Г. В. КУЛАК<sup>1</sup>, Т. В. НИКОЛАЕНКО<sup>1</sup>, О. В. ШАКИН<sup>2</sup>, К. Б. ДУБРОВСКАЯ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>УО МГПУ им. И.П. Шамякина (г. Мозырь, Беларусь)

<sup>2</sup>Государственный университет аэрокосмического приборостроения, (г. Санкт-Петербург, Россия)

### ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СВЕТОВЫХ ПУЧКОВ ЭЙРИ АКУСТООПТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

**Введение.** В работе [1] рассмотрены особенности преобразования световых пучков Эйри-Гаусса (ЭГП) различными оптическими системами. При этом предлагается использовать хорошо разработанный в оптике  $ABCD$ -матричный метод [2]. Следует учитывать, что эйри-гауссов световой пучок описывает особенности поведения пучков с конечным значением энергии по сравнению с обычными пучками Эйри (ЭП).

При прохождении светового пучка Эйри через  $ABCD$  систему световое поле  $U_2(x_2)$  преобразуется в соответствии со следующим интегральным соотношением [2]:

$$U_2(x_2; \kappa_2, \delta_2, S_2, q_2) = Ai\left(\frac{x_2 + \delta_2}{\kappa_2}\right) \exp\left[is_2\left(\frac{x_2 + \delta_2}{\kappa_2}\right) + i\frac{1}{3}S_2^3\right] GB(x_2, q_2), \quad (1)$$

где  $Ai(\cdot)$  – функция Эйри,

$$GB(x_2, q_2) = \frac{1}{\sqrt{A + B/q_1}} \exp\left(\frac{ikx_2^2}{2q_2}\right);$$

выходные параметры  $\kappa_2, \delta_2, S_2, q_2$  эйри-гауссового пучка даются соотношениями

$$q_2 = \frac{Aq_1 + B}{Cq_1 + D}, \quad \kappa_2 = \kappa_1(A + B/q_1),$$

$$S_2 = S_1 + \frac{B}{2k\kappa_1\kappa_2} \cdot \delta_2 = \delta_1(A + B/q_1) - \frac{B}{2k\kappa_1}(S_1 + S_2), \quad (2)$$

где  $\kappa_1, \delta_1, S_1, q_1$  – входные параметры (ЭГП);  $k=2\pi/\lambda$  – волновое число световой волны.

### Теоретические результаты и обсуждение

Предположим, что пространственно модулированный ЭП с амплитудой  $U(x)$  дифрагирует на ультразвуковом пучке шириной  $l$  (см. рисунок 1).

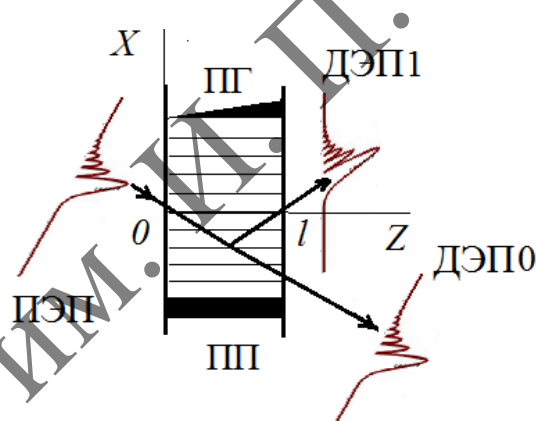


Рисунок 1. – Схема неколлинеарной АО дифракции ЭГП (ЭГП – пучок Эйри-Гаусса, ПП – пьезопреобразователь, ПГ – поглочитель, ПЭП – падающий ЭГП, ДЭП0 – дифрагированный ЭГП нулевого порядка, ДЭП1 – дифрагированный ЭГП первого порядка)

В приближении плоских волн  $ABCD$  матрица акустооптической (АО) ячейки для нулевого ( $M_0$ ) и первого ( $M_1$ ) дифракционного порядка имеет вид [2; 3]:

$$\hat{M}_0 = \begin{pmatrix} \cos(\chi z) & -\sin(\chi z) \\ \sin(\chi z) & \cos(\chi z) \end{pmatrix}, \quad \hat{M}_1 = \begin{pmatrix} \chi \sin(\chi z) & -\cos(\chi z) \\ \cos(\chi z) & \sin(\chi z)/\chi \end{pmatrix}, \quad (3)$$

где  $\chi$  – коэффициент связи дифрагированных волн.

Тогда в выражениях (2) для нулевого дифракционного порядка следует полагать:

$$q_2 = \frac{\cos(\chi z)q_1 + \sin(\chi z)}{-\sin(\chi z)q_1 + \cos(\chi z)}, \quad \kappa_2 = \kappa_1(\cos(\chi z) + \sin(\chi z)/q_1),$$

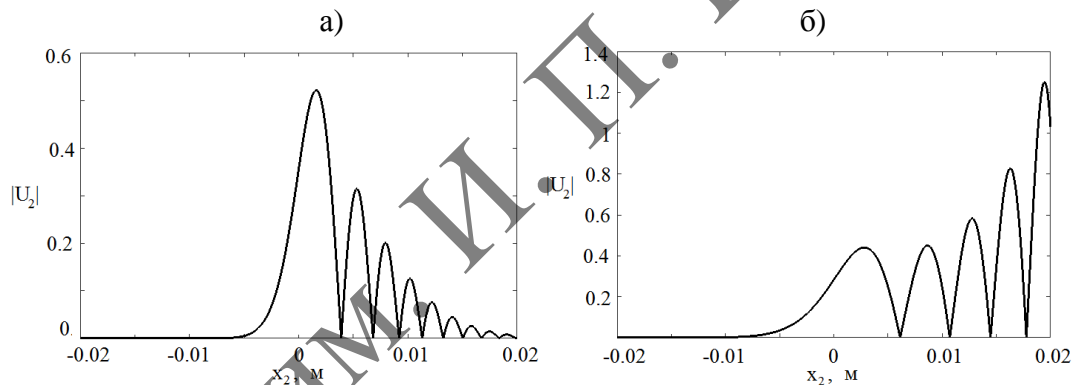
$$S_2 = S_1 + \frac{\sin(\chi z)}{2k\kappa_1\kappa_2}, \quad \delta_2 = \delta_1(\cos(\chi z) + \sin(\chi z)/q_1) - \frac{\sin(\chi z)}{2k\kappa_1}(S_1 + S_2) \quad (4)$$

и для первого дифракционного порядка

$$q_2 = \frac{-\chi \sin(\chi z)q_1 + \cos(\chi z)}{\cos(\chi z)q_1 + \sin(\chi z)/\chi}, \quad \kappa_2 = \kappa_1(-\sin(\chi z) + \cos(\chi z)/q_1),$$

$$S_2 = S_1 + \frac{\cos(\chi z)}{2k\kappa_1\kappa_2}, \quad \delta_2 = \delta_1(-\sin(\chi z) + \cos(\chi z)/q_1) - \frac{\cos(\chi z)}{2k\kappa_1}(S_1 + S_2). \quad (5)$$

На рисунке 2 представлены зависимости амплитуд дифрагированных световых пучков  $|U_2|$  нулевого (а) и первого (б) порядка от поперечной координаты  $x_2$ , рассчитанные с использованием выражений (1), (4) и (5). При этом полагалось, что падающий ЭГП получается из представленного на рисунке 2а, заменой координаты  $x_2$  на  $-x_2$ . Полагалось, что  $w_1 = \sqrt{2/k \operatorname{Im}(q_1^{-1})}$  ( $w_1$  – ширина гауссовой составляющей падающего светового пучка),  $\kappa_1 = w_1/6$ .



**Рисунок 2. – Зависимость амплитуды дифрагированного светового пучка  $|U_2|$  от поперечной координаты  $x_2$  для нулевого (а) и первого (б) дифракционного порядка ( $\lambda=0,63$  мкм,  $\delta_1=0$ ,  $S_1=0$ ,  $w_1=10^{-2}$  м,  $z=l=10^{-2}$  м,  $\chi=10^2\pi$  (а),  $\chi=10^2\pi/2$  (б))**

Из рисунка 2 следует, что ЭГП в нулевом дифракционном порядке имеют обычную форму в соответствии с поведением функции Эйри  $\operatorname{Ai}(\cdot)$ . Для дифрагированного светового пучка первого порядка имеют место значительные изменения формы ЭГП. При этом амплитуда пучка, в отличие от пучка нулевого порядка, достигает максимального значения при  $x_2 > 0$ .

**Заключение.** Предложен *ABCD* – метод расчета дифрагированных на ультразвуке световых эйри-гауссовых пучков в режиме Брэгга. Исследовано преобразование эйри-гауссовых световых пучков акустооптическим методом. Показано, что в условиях брэгговской дифракции на ультразвуке дифрагированный световой пучок нулевого порядка испытывает инверсию поперечного распределения по сравнению с падающим эйри-гауссовым пучком, сохраняя свою форму. Дифрагированный световой пучок первого порядка испытывает значительные изменения формы по сравнению с падающим пучком.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Bandres, M. A. Airy-Gauss beams and their transformation by paraxial optical systems / M. A. Bandres, J. C. Gutierrez-Vega // Optics Express. – 2007. – V. 15, № 25. – P. 16727–16736.

2. Джерард, А. Введение в матричную оптику / А. Джерард, Дж. М. Бёрч. – М. : Мир, 1978. – 341 с.

3. Балакший, В. Н. Физические основы акустооптики / В. Н. Балакший, В. Н. Парыгин, Л. Е. Чирков. – М. : Радио и связь, 1985. – 279 с.

МГТУ ИМ. И. П. ШАМЯКИНА