

# Изменение траектории пучков Эйри с помощью несущих пространственных частот

А.О. Фролов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Московское шоссе 34а, Самара, Россия, 443086

## Аннотация

В данной работе исследуется изменение траектории распространения автофокусирующихся лазерных пучков с использованием дробного преобразования Фурье. Рассмотрены смещённые ограниченные пучки Эйри-Гаусса, дополненные фазовой функцией, отклоняющей пучок аналогично призме. Смещение и фазовое отклонение (в соответствии с несущими пространственными частотами) позволяют менять траекторию распространения автофокусирующихся пучков. На основе численного моделирования выполнено исследование влияния рассматриваемых параметров на свойства автофокусировки пучков Эйри-Гаусса.

## Ключевые слова

Дробное преобразование Фурье, пучки Эйри-Гаусса, свойство автофокусировки, несущие пространственные частоты

## 1. Введение

Интерес к пучкам Эйри [1] связан с их особыми свойствами не только сопротивляться влиянию дифракции, но и распространяться в свободном пространстве по изогнутой параболической траектории [2], что нашло применение во многих приложениях [3], включая оптическое манипулирование, микроскопию и лазерную обработку. Так как функции Эйри, обладающие свойствами автофокусировки, подобно функциям Бесселя, являются бесконечно протяженными, для их физической реализации требуется усечение. Чаще всего ограничение достигается умножением функции Эйри на экспоненциальную или Гауссову функцию. В данной работе рассмотрен второй вариант. Одним из подходов к расширению типов и разнообразию структуры автофокусирующихся пучков является формирование наборов или кластеров разных пучков [4]. В данной работе исследуется распространение смещённых пучков Эйри-Гаусса, которые имеют дополнительную фазу в соответствии с несущими пространственными частотами. Смещение и фазовое дополнение позволяют менять траекторию распространения пучков и их свойства автофокусировки. Моделирование выполнено с использованием дробного преобразования Фурье [5], описывающего параксиальное распространение лазерного излучения через линзовые системы.

## 2. Результаты моделирования

Дробное преобразование Фурье описывается следующей формулой:

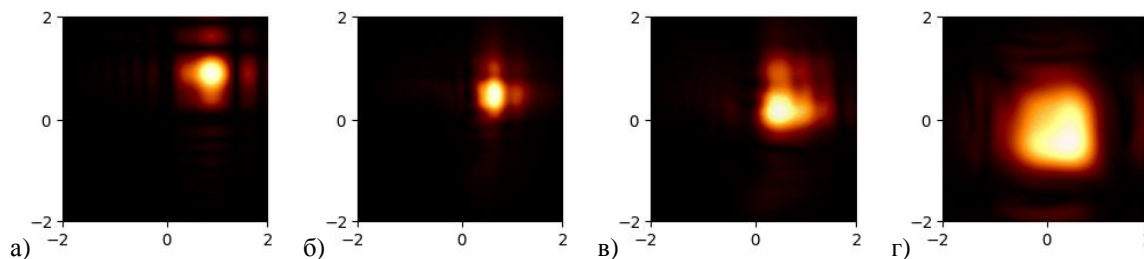
$$F(u, v) = -\frac{ik}{2\pi B} \iint_{-\infty}^{+\infty} f(x, y) \exp\left\{\frac{ik}{2B}[A(x^2 + y^2) - 2(xu + yv) + D(u^2 + v^2)]\right\} dx dy \quad (1)$$

где  $A = D = \cos \frac{\pi z}{2f}$ ,  $B = f \sin \frac{\pi z}{2f}$ ,  $C = -\frac{\sin \frac{\pi z}{2f}}{f}$ ,  $f = 1000$  мм,  $z$  — расстояние до плоскости изображения, мм. Сами пучки  $f(x, y)$  получены путем применения преобразования Фурье к функции:

$$f(x, y) = \exp[i(\alpha x^3 + \beta y^3 + \alpha_0 x + \beta_0 y)] \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{\sigma^2}\right) \quad (2)$$

где  $\sigma = 1$  мм. С помощью изменения констант, входящих в (2), можно внести изменения в траекторию распространения отдельных пучков.

На рисунке 1 показан результат применения дробного преобразования Фурье (1) к смещённому пучку Эйри-Гаусса с параметрами  $\alpha = \beta = 3$ ,  $\alpha_0 = \beta_0 = 5$ .



**Рисунок 1:** Распространение смещенного пучка Эйри-Гаусса: распределение интенсивности на различных расстояниях:  $z = 0$  мм (а),  $z = 250$  мм (б),  $z = 500$  мм (в),  $z = 1000$  мм (г)

### 3. Заключение

В данной работе исследована возможность изменения траектории распространения произвольных смещенных в исходной плоскости пучков за счет дополнительной фазовой функции, отклоняющей пучок аналогично призме (в соответствии с несущими пространственными частотами). Такой подход применен к пучкам, обладающим свойствами автофокусировки, а именно к пучкам Эйри-Гаусса, с целью дополнительного управления их свойствами.

Выполнено численное исследование влияния величины смещения и фазового отклонения на изменение траектории и свойства автофокусировки пучков Эйри-Гаусса, показано их преобразование при прохождении через линзовую систему, которая моделируется с использованием дробного преобразования Фурье.

### 4. Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 20-07-00505-А).

### 5. Литература

- [1] Berry, M.V. Nonspreiding wave packets / M.V. Berry, N.L. Balazs // Am. J. Phys. – 1979. – Vol. 47(3). – P. 264-267.
- [2] Siviloglou, G.A. Accelerating finite energy Airy beams, / G.A. Siviloglou, D.N. Christodoulides // Opt. Letters. – 2007. – Vol. 32(8). – P. 979-981.
- [3] Vallee, O. Airy functions and applications in physics / O. Vallee, M. Soares. – Imperial College Press, 2004. – 194 p.
- [4] Suarez, R.A. Optimizing optical trap stiffness for Rayleigh particles with an Airy array beam / R.A. Suarez, A.A. Neves, M.R. Gesualdi // J. Opt. Soc. Am. B. – 2020. – Vol. 37(2). – P. 264-270.
- [5] Namias, V. The Fractional Order Fourier Transform and its Application to Quantum Mechanics / V. Namias // IMA J. Appl. Math. – 1980. – Vol. 25(3). – P. 241-265.