

# Аксиконы и пространственные модуляторы света: краткий обзор

М.А. Бутт<sup>1,2</sup>, Д.А. Савельев<sup>1,2</sup>

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

<sup>2</sup>Институт систем обработки изображений РАН - филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, Молодогвардейская 151, Самара, Россия, 443001

## Аннотация

В данной работе представлен краткий сравнительный обзор аксиконов и пространственных модуляторов света (SLM), которые используются при преобразовании гауссовых пучков в недифрагирующие пучки Бесселя. Показывается сравнение реального аксикона с компьютерными голограммами (CGH)-SLM.

## Ключевые слова

Аксиконы, пучки Бесселя, SLM, компьютерные голограммы

## 1. Введение

Аксиконы, в том числе дифракционные [1], хорошо известны в оптике и часто используются для преобразования лазерного излучения в универсальное семейство недифрагирующих лазерных пучков [2]. В 1954 году Дж. Х. Маклеод предложил применение аксикона [3] как наиболее эффективный метод для генерации бесселевого пучка нулевого порядка (БП), который также называют недифрагирующим пучком. Такой лазерный пучок имеет ряд преимуществ, так как центральное фокальное пятно сохраняет свой размер и форму [4]. Эти пучки были впервые изучены в 1987 г. Дж. Дурниным и широко использовались как в оптике, так и в приложениях, связанных с акустикой [5]. В акустике БП обычно используются, например, в схемах ультразвуковой визуализации. Их увеличенная глубина фокуса (DOF) и малый диаметр пучка обеспечивают эффективное сканирование проходящего луча, а их функции самовосстановления приводят к выдающейся устойчивости к рассеянию в тканях. Кроме того, постоянное разрешение изображения достигается за счет отсутствия дифракции. Характеристики самовосстановления бездифракционного БП позволяют ему проникать глубоко в образец, выдерживать рефракцию в турбулентных условиях и обеспечивать осевое разрешение по сравнению с разрешением гауссовых пучков. В данной работе мы представляем краткий обзор реальных аксиконов и пространственных модуляторов света для генерации БП, а также обсуждаются преимущества и недостатки обоих типов элементов.

## 2. Сравнение качества БП, созданного реальным аксиконом и SLM

Разнообразие недифрагирующих БП, производимых аксиконом, зависит от геометрических характеристик аксикона, таких как радиус и угол преломления. Стандарт недифрагирующих лучей и их использование также будет зависеть от производственных дефектов аксикона [6].

Настоящий аксикон, изготовленный механическими методами, может иметь практически неизбежные неточности изготовления. На рисунке 1 сравнивается качество БП, созданного настоящим аксиконом и SLM [7]. Используется реальный аксикон, имеющий радиус ( $r$ ) = 12,7 мм и угол преломления ( $\theta$ ) = 0,008 рад., в то время как CGH с периодом ( $d$ ) и высотой ( $h$ ) канавок составляет 13 пикселей и 0,0012 мм, соответственно. На рисунке 1 представлены изображения БП на разном расстоянии по координате  $z$ . Видно, что БП производства SLM сохранил безупречную форму во всем диапазоне. Но БП, созданный настоящим аксиконом, не мог сохранять свою форму и искажается при удалении от аксикона. Например: при  $z \geq 930$  мм

ББ, созданный настоящим аксиконом, искажается из-за ошибок изготовления. Таким образом, SLM + CGH обеспечивают гибкий способ производства безупречных БП, а также позволяют избежать ошибок при изготовлении.

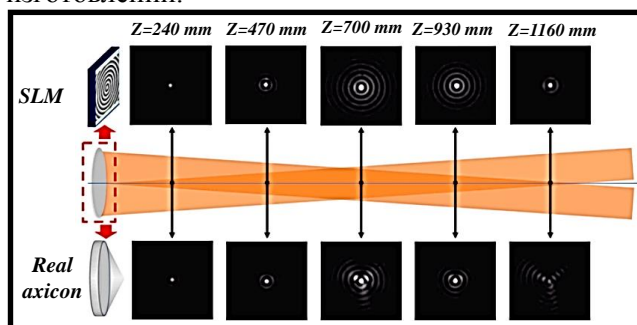


Рисунок 1: БП, генерируемые SLM и реальным аксиконом на различных расстояниях [7]

### 3. Заключение

В данной работе мы представили краткий сравнительный обзор аксиконов и пространственных модуляторов света. Производительность аксикона сравнивается с пространственным модулятором света, который представляет собой оптоэлектронное устройство, способное модулировать амплитуду или фазу светового луча.

### 4. Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант 20-72-00051) в части «Введение» и «Сравнение качества БП, созданного реальным аксиконом и SLM», а также Министерства науки и высшего образования РФ в рамках выполнения работ по Государственному заданию ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН (соглашение 007-ГЗ/Ч3363/26) в части «Заключение».

### 5. Литература

- [1] Хонина, С.Н. Экспериментальная демонстрация формирования продольной компоненты электрического поля на оптической оси с помощью высокоапертурных бинарных аксиконов при линейной и круговой поляризации освещающего пучка / С.Н. Хонина, С.В. Карпеев, С.В. Алферов, Д.А. Савельев // Компьютерная оптика. – 2013. – Т. 37. – №. 1. – С. 76-87. DOI: 10.18287/0134-2452-2013-37-1-76-87.
- [2] Khonina, S.N. Generating a couple of rotating nondiffracting beams using a binary-phase DOE / S.N. Khonina, V. Kotlyar, V. Soifer, J. Lautanen, M. Honkanen, J. Turunen // Optik. – 1999. – Vol. 110. – P. 17845-17859.
- [3] McLeod, J.H. The axicon: a new type of optical element / J.H. McLeod // JOSA. – 1954. – Vol. 44(8). – P. 592-597.
- [4] Khonina, S.N. Tighter focus for ultrashort pulse vector light beams: Change of the relative contribution of different field components to the focal spot upon pulse shortening / S.N. Khonina, I. Golub // J. Opt. Soc. Am. – 2018. – Vol. 35. – P. 985-991.
- [5] Durnin, J. Exact solutions for nondiffracting beams. i. the scalar theory / J. Durnin // J. Opt. Soc. Am. A. – 1987. – Vol. 4(4). – P. 651-654.
- [6] Zeng, X. Effect of elliptical manufacture error of an axicon on the diffraction-free beam patterns / X. Zeng, F. Wu // Optical Engineering. – 2008. – Vol. 47(8). – P. 083401.
- [7] Zhai, Z. Tunable axicons generated by Spatial light modulator with high-level phase computer-generated holograms / Z. Zhai, Z. Cheng, Q. Lv, X. Wang // Applied Sciences. – 2020. – Vol. 10. – P. 5127.