

## Многомодовые пучки с периодическими свойствами

В.А. Данилов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Научно-технологический центр уникального приборостроения РАН, Бутлерова, 15, Москва, Россия, 117342

### Аннотация

Многомодовые пучки могут проявлять особые, не присущие отдельным модам свойства. Например, периодическое повторение поперечного распределения интенсивности на определенных расстояниях вдоль оптической оси, вращение картины поперечного сечения пучка при его распространении. Такие свойства световых пучков востребованы в различных приложениях, включая оптическое манипулирование, оптические измерения, зондирование атмосферы и беспроводные системы связи. Большой вклад в развитие теоретических основ и методов формирования различных многомодовых пучков принадлежит научной школе академика РАН профессора В.А. Сойфера. В данной статье проведен краткий обзор достижений научной школы, связанных с применением средств дифракционной оптики для формирования лазерных пучков с периодическими свойствами.

### Ключевые слова

Моды лазерного излучения, многомодовые пучки, дифракционный оптический элемент, периодическое повторение, вращение картины интенсивности при распространении

Модами лазерного излучения определенной оптической среды считаются световые поля, комплексная амплитуда которых описывается собственными функциями оператора распространения излучения в этой среде. Хорошо известны лазерные пучки Лагерра-Гаусса и Эрмита-Гаусса, которые являются модами резонаторов [1], а также пучки Бесселя, которые считаются “бездифракционными” [2] и распространяются в свободном пространстве сохраняя поперечное распределение интенсивности. Известны различные подходы к формированию этих пучков, однако наиболее эффективными являются средства дифракционной оптики.

Большой вклад в развитие теоретических основ и методов формирования различных одномодовых и многомодовых пучков на основе дифракционных оптических элементов (ДОЭ) принадлежит научной школе академика РАН профессора В.А. Сойфера [3-6].

Одной из важных задач является преобразование Гауссова пучка, т.е. фундаментальной моды лазерного излучения в произвольную моду высокого порядка. При этом желательно найти компромисс между такими конкурирующими критериями как высокая точность и эффективность генерации заданной моды. С этой целью были разработаны различные методы кодирования амплитудно-фазового распределения в чисто фазовое [7-10], в том числе гибридные методы, сочетающие разные подходы за счет вариативного параметра [9, 10].

Другой важной задачей является разработка методов расчета фазовых ДОЭ, согласованных с линейной комбинацией конечного числа мод с заданными весами. В случае, когда фазовые соотношения между модами в пучке не важны, а имеет смысл только модовый состав пучка, можно применять итерационные алгоритмы [4, 11]. Отметим, что именно модовый состав лазерного пучка определяет сценарий стабильности, периодического повторения или вращении поперечной картины интенсивности при распространении [12-17].

Возможность эффективного формирования многомодовых лазерных пучков с заданными свойствами существенно расширяет спектр применения лазерных пучков в различных приложениях [18-20].

## Литература

- [1] Kogelnik, H. Laser Beams and Resonators / H. Kogelnik, T. Li // *Appl. Opt.* – 1966. – Vol. 5(10). – P. 1550-1567. DOI:10.1364/AO.5.001550.
- [2] Durnin, J. Diffraction-free beams / J. Durnin, J.J. Miceli, J.H. Eberly // *Phys. Rev. Lett.* – 1987. – Vol. 58(15). – P. 1499-1501.
- [3] Soifer, V.A. Laser beam mode selection by computer-generated holograms / V.A. Soifer, M.A. Golub. – CRC Press, Boca Raton, 1994.
- [4] Soifer, V.A. Iterative methods for diffractive optical elements computation / V.A. Soifer, V.V. Kotlyar, L.L. Doskolovich. – London: Taylor & Francis, 1997.
- [5] Волков, А.В. Методы компьютерной оптики / А.В. Волков, Д.Л. Головашкин, Л.Д. Досколович, Н.Л. Казанский, В.В. Котляр, В.С. Павельев, Р.В. Скиданов, В.А. Сойфер, В.С. Соловьев, Г.В. Успенев, С.И. Харитонов, С.Н. Хонина. – М.: Физматлит, 2003, 688 с.
- [6] Головашкин, Д.Л. Дифракционная компьютерная оптика / Д.Л. Головашкин, Л.Л. Досколович, Н.Л. Казанский, В.В. Котляр, В.С. Павельев, Р.В. Скиданов, В.А. Сойфер, С.Н. Хонина. – М.: Физматлит, 2007. – 736 с.
- [7] Котляр, В.В. Фазовые оптические элементы для формирования квазимод свободного пространства / В.В. Котляр, В.А. Сойфер, С.Н. Хонина // *Квантовая электроника.* – 1991. – Т. 18, № 11. – С. 1391-1394.
- [8] Khonina, S.N. Techniques for encoding composite diffractive optical elements / S.N. Khonina, V.V. Kotlyar, V.A. Soifer // *Proceedings of SPIE Int. Soc. Opt. Eng.* – 2003. – Vol. 5036. – P. 493-498.
- [9] Котляр, В.В. Метод частичного кодирования для расчета фазовых формирователей мод Гаусса-Эрмита / В.В. Котляр, С.Н. Хонина, В.А. Сойфер // *Автометрия.* – 1999. – Т. 6. – С. 74-83.
- [10] Khonina, S.N. Encoded binary diffractive element to form hyper-geometric laser beams / S.N. Khonina, S.A. Balalayev, R.V. Skidanov, V.V. Kotlyar, B. Paivanranta, J. Turunen // *Journal of Optics A: Pure and Applied Optics.* – 2009. – Vol. 11. – P. 065702. DOI: 10.1088/1464-4258/11/6/065702.
- [11] Павельев, В.С. Быстрый итерационный расчет фазовых формирователей мод Гаусса-Лагерра / В.С. Павельев, С.Н. Хонина // *Компьютерная оптика.* – 1997. – Т. 17. – С. 15-20.
- [12] Kotlyar, V.V. Algorithm for the generation of non-diffracting Bessel modes / V.V. Kotlyar, S.N. Khonina, V.A. Soifer // *Journal of Modern Optics.* – 1995. – Vol. 42(6). – P. 1231-1239.
- [13] Kotlyar, V.V. An algorithm for the generation of laser beams with longitudinal periodicity: rotating images / V.V. Kotlyar, V.A. Soifer, S.N. Khonina // *Journal of Modern Optics.* – 1997. – Vol. 44(7). – P. 1409-1416.
- [14] Котляр, В.В. Фазовые формирователи световых полей с продольной периодичностью / В.В. Котляр, В.А. Сойфер, С.Н. Хонина // *Оптика и спектроскопия.* – 1998. – Т. 84, № 5. – С. 853-859.
- [15] Khonina, S.N. Generation of rotating Gauss-Laguerre modes with binary-phase diffractive optics / S.N. Khonina, V.V. Kotlyar, V.A. Soifer, M. Honkanen, J. Lautanen, J. Turunen // *Journal of Modern Optics.* – 1999. – Vol. 46(2). – P. 227-238.
- [16] Хонина, С.Н. Саморепродукция многомодовых пучков Гаусса-Эрмита / С.Н. Хонина, В.В. Котляр, В.А. Сойфер // *Письма в ЖТФ.* – 1999. – Т. 25, № 12. – С. 62-69.
- [17] Khonina, S.N. Generating a couple of rotating nondiffracting beams using a binary-phase DOE / S.N. Khonina, V.V. Kotlyar, V.A. Soifer, J. Lautanen, M. Honkanen, J. Turunen // *Optik.* – 1999. – Vol. 110(3). – P. 137-144.
- [18] Сойфер, В.А. Оптическое манипулирование микрообъектами: достижения и новые возможности, порожденные дифракционной оптикой / В.А. Сойфер, В.В. Котляр, С.Н. Хонина // *Физика элементарных частиц и атомного ядра.* – 2004. – Т. 35, № 6. – P. 1368-1432.

- [19] Казанский, Н.Л. Дифракционные оптические элементы для мультиплексирования структурированных лазерных пучков / Н.Л. Казанский, С.Н. Хони́на, С.В. Карпеев, А.П. Порфирьев // Квантовая электроника. – 2020. – Т. 50, № 7. – С. 629-635.
- [20] Khonina, S.N. Bessel Beam: Significance and Applications – A Progressive Review / S.N. Khonina, N.L. Kazanskiy, S.V. Karpeev, M.A. Butt // Micromachines. – 2020. – Vol. 11. – P. 997-1024. DOI: 10.3390/mi11110997.