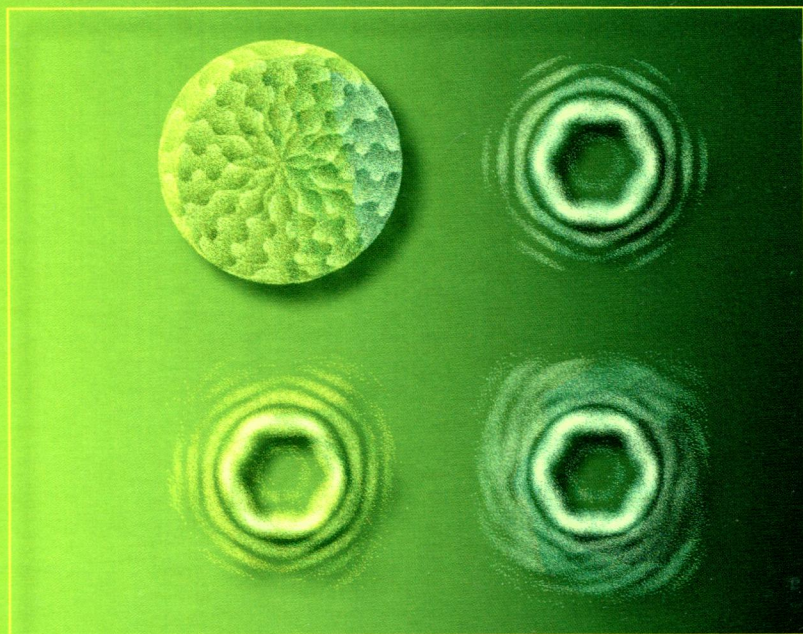


В.В. Котляр
А.А. Ковалев

УСКОРЯЮЩИЕСЯ И ВИХРЕВЫЕ ЛАЗЕРНЫЕ ПУЧКИ



В.В. Котляр
А.А. Ковалев

УСКОРЯЮЩИЕСЯ И ВИХРЕВЫЕ ЛАЗЕРНЫЕ ПУЧКИ



МОСКВА
ФИЗМАТЛИТ®
2018

УДК 535.42
ББК 22.343.4
К 73



*Издание осуществлено при поддержке
Российского фонда фундаментальных
исследований по проекту 18-17-00001,
не подлежит продаже*

Котляр В. В., Ковалев А. А. **Ускоряющиеся и вихревые лазерные пучки.** — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2018. — 256 с. — ISBN 978-5-9221-1818-7.

Книга посвящена необычным лазерным пучкам, которые могут быть сформированы на практике с помощью жидкокристаллического модулятора света. Рассматриваются новые, открытые после 2013 г. вихревые и ускоряющиеся лазерные пучки, первые из которых обладают орбитальным угловым моментом, а вторые распространяются по искривленным траекториям. Приводятся примеры ускоряющихся пучков — это двумерные пучки Эйри, распространяющиеся по квадратичным и гиперболическим траекториям. Показано, как замедляющиеся пучки преобразовать в ускоряющиеся. Рассмотрены лазерные пучки с резкой самофокусировкой, когда диаметр пучка при приближении к фокусу уменьшается не линейно, а квадратично. Подробно рассматриваются примеры новых вихревых лазерных пучков: параксиальных (асимметричные пучки Лагерра–Гаусса и Бесселя–Гаусса, вихревые эллиптические пучки Эрмита–Гаусса), непараксиальных (асимметричные пучки Бесселя, моды Ломмеля), векторные вихревые пучки Ханкеля. У асимметричных и эллиптических вихревых пучков орбитальный угловой момент дробный и непрерывно увеличивается с ростом параметра асимметрии и эллиптичности.

Книга предназначена широкому кругу научных работников, инженеров, работающих в области оптики, фотоники, лазерной физики, оптоинформационных технологий, оптического приборостроения. Также может быть полезной студентам старших курсов, бакалаврам и магистрам, обучающимся по специальностям «Прикладная математика и физика», «Прикладная математика и информатика», «Оптика», и аспирантам, специализирующимся в этих областях.

© ФИЗМАТЛИТ, 2018

ISBN 978-5-9221-1818-7

© В. В. Котляр, А. А. Ковалев, 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	6
Глава 1. Ускоряющиеся лазерные пучки	7
1.1. Пучки Эйри с непараболической траекторией	7
1.1.1. Пучки Эйри с параболической траекторией	7
1.1.2. Пучки, ускоряющиеся по непараболической траектории	11
1.1.3. Лазерные пучки Эйри второго рода	14
1.2. Расстояние бездифракционного распространения пучка Эйри	19
1.2.1. Получение расстояния инвариантности из уравнения траектории	20
1.2.2. Получение расстояния инвариантности из асимптотики фазы пучка Эйри	22
1.2.3. Результаты моделирования	23
1.3. Преобразование замедляющихся пучков в ускоряющиеся	26
1.3.1. Ускоряющиеся пучки	27
1.3.2. Замедляющиеся пучки	30
1.3.3. Замедляющиеся и ускоряющиеся пучки на разных участках траектории	32
1.4. Пучки с искривленной траекторией в линейной градиентной среде	38
1.4.1. Интегральное преобразование для линейной градиентной среды	39
1.4.2. Распространение гауссова пучка в двумерной линейно-градиентной среде	43
1.4.3. Распространение пучка Эйри в двумерной линейно-градиентной среде	46
1.5. Ускоряющиеся двумерные пучки Бесселя	48
1.5.1. Моделирование формирования кольцевого 2D пучка Бесселя	49
1.5.2. Моделирование распространения двумерного асимметричного пучка Бесселя	53
Глава 2. Вихревые пучки Эрмита–Гаусса	58
2.1. Линейная комбинация двух пучков Эрмита–Гаусса	58
2.1.1. Обобщенные лазерные пучки Эрмита–Гаусса	59
2.1.2. Орбитальный угловой момент линейной комбинации двух мод Эрмита–Гаусса	60
2.1.3. Орбитальный угловой момент линейной комбинации двух элегантных пучков Эрмита–Гаусса	63
2.1.4. Орбитальный угловой момент линейной комбинации двух гибридных пучков Эрмита–Гаусса	64
2.1.5. Численное моделирование	65
2.2. Вихревые моды Эрмита–Гаусса	67
2.2.1. Комплексная амплитуда ВЭГ-моды	68

2.2.2. Орбитальный угловой момент ВЭГ-моды	69
2.2.3. Численное моделирование	70
2.2.4. Изолированные нули интенсивности ВЭГ-моды	72
2.2.5. Ортогональность ВЭГ-мод	73
2.2.6. Эксперимент	74
Глава 3. Асимметричные лазерные вихревые пучки	77
3.1. Асимметричные бездифракционные моды Бесселя	77
3.1.1. Нули асимметричных бesselевых пучков	79
3.1.2. Угловой спектр плоских волн ЭБ-пучка	83
3.1.3. Орбитальный угловой момент ЭБ-пучка	84
3.1.4. Ортогональность ЭБ-пучков	85
3.2. Асимметричные пучки Бесселя–Гаусса	85
3.2.1. Линейная комбинация БГ-пучков	86
3.2.2. Фурье-спектр аБГ-пучка	94
3.2.3. Орбитальный угловой момент аБГ-пучка	95
3.2.4. Ортогональность семейства аБГ-пучков	96
3.2.5. Эксперимент	96
3.3. Суперпозиция мод Бесселя с комплексным смещением	98
3.3.1. Фурье-спектр смещенного пучка Бесселя	100
3.3.2. Связь амплитуд спектра смещенного и несмещенного пучков Бесселя	101
3.3.3. Орбитальный угловой момент смещенного пучка Бесселя	102
3.3.4. Орбитальный угловой момент суперпозиции смещенных пучков Бесселя	103
3.3.5. Суперпозиция трех смещенных пучков Бесселя	104
3.3.6. Суперпозиция пучков Бесселя, расположенных в углах правильного многоугольника	108
3.3.7. Суперпозиция большого числа пучков Бесселя, центры которых лежат на окружности	111
3.4. Асимметричные моды Бесселя других типов	114
3.4.1. Асимметричные моды Бесселя II типа	115
3.4.2. Суперпозиции асимметричных мод Бесселя	117
3.4.3. Орбитальный угловой момент суперпозиций асимметричных мод Бесселя первого и второго типов	122
3.5. Теоремы об орбитальном угловом моменте	125
3.5.1. Орбитальный угловой момент суперпозиций одинаковых оптических вихрей с радиальной симметрией	125
3.5.2. Численное моделирование	129
3.6. Моды Ломмеля	133
3.6.1. Комплексная амплитуда пучков Ломмеля	134
3.6.2. Орбитальный угловой момент пучков Ломмеля	138
3.6.3. Ортогональность комплексных амплитуд пучков Ломмеля	139
3.7. Асимметричные пучки Лагерра–Гаусса	139
3.7.1. Пучки Лагерра–Гаусса с комплексным смещением	141
3.7.2. Мощность смещенного пучка Лагерра–Гаусса	143
3.7.3. Орбитальный угловой момент смещенного пучка Лагерра–Гаусса	146
3.7.4. Параксиальные пучки Лагерра–Гаусса в форме вращающегося полумесяца	149

3.7.5. Экспериментальное формирование асимметричного пучка Лагерра–Гаусса	153
3.7.6. Вращающиеся суперпозиции асимметричных пучков Лагерра–Гаусса	155
3.7.7. Захват и вращение микрочастиц в асимметричных пучках Лагерра–Гаусса	157
3.8. Асимметричный гауссов оптический вихрь	162
3.8.1. Амплитуда асимметричного гауссова оптического вихря	163
3.8.2. Дробный орбитальный угловой момент АГВ	164
3.8.3. Дифракция гауссова пучка на смещенной спиральной фазовой пластинке (СФП)	166
3.8.4. Экспериментальное формирование АГВ	168
Глава 4. Фокусировка вихревых лазерных пучков	171
4.1. Пучки Пирси с автофокусировкой.	171
4.1.1. Трехмерные половинные пучки Пирси	172
4.1.2. Двумерные половинные пучки Пирси	175
4.1.3. Наблюдение разности двух ПП-пучков первого порядка	177
4.2. Гипергеометрические пучки с автофокусировкой	181
4.2.1. Вихревые пучки Пирси или гипергеометрические пучки с автофокусировкой	182
4.2.2. Вихревые пучки Пирси–Гаусса	186
4.3. Гипергеометрические пучки в параболическом волноводе	188
4.3.1. Параксиальные гипергеометрические пучки в параболической градиентной среде	189
4.3.2. Моды параболической градиентной среды	191
4.3.3. Параболическая градиентная микролинза	192
4.3.4. Бинарная параболическая линза	194
4.3.5. Результаты моделирования	195
4.4. Оптические элементы для формирования идеального вихря.	200
4.4.1. Формирование идеального оптического вихря с помощью амплитудно-фазового оптического элемента	202
4.4.2. Формирование идеального оптического вихря с помощью оптимального фазового оптического элемента	205
4.4.3. Формирование идеального оптического вихря с помощью конического аксикона	207
4.4.4. Результаты моделирования	210
4.4.5. Эксперимент	214
Глава 5. Векторные вихревые пучки	218
5.1. Скалярные непараксиальные пучки Ханкеля.	218
5.2. Пучки Ханкеля с линейной поляризацией	224
5.3. Пучки Ханкеля с круговой поляризацией.	229
5.3.1. Проекции векторов электромагнитного поля для правой и левой круговых поляризаций	229
5.3.2. Вихревые векторные пучки Ханкеля с круговой поляризацией в дальней зоне	233
Заключение	237
Список литературы	238