

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ ОПТИЧЕСКИХ «ВИХРЕЙ» ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МИКРОМАНИПУЛИРОВАНИЯ

© 2008 А.А. Морозов

Самарский государственный аэрокосмический университет

Исследованы световые пучки с орбитальным угловым моментом в задаче оптического захвата и вращения микрообъектов. Рассмотрены дифракционные оптические элементы, формирующие систему концентрических колец равной яркости для оптического захвата и вращения непрозрачных микрообъектов.

Вихревые пучки, градиентные силы, гипергеометрические пучки

Введение

Проведен численный расчет ряда свойств оптических «вихрей» [1,2]. Полученные результаты могут быть использованы при выборе пучка для манипулирования [3] тем или иным микрообъектом, т.к. в зависимости от свойств частицы нужен пучок с определенными параметрами. Расчет проводился с помощью моделирующей программы, которая при задании комплексной амплитуды в исходной плоскости реализует преобразования Фурье и Френеля, формируя тем самым комплексную амплитуду в плоскости фокуса линзы и плоскости, отстоящей от исходной на определенном расстоянии.

1. Исследование свойств гипергеометрических пучков в зависимости от их порядка

Гипергеометрические пучки [4, 5] – это одна из разновидностей оптических «вихрей». При распространении в однородном пространстве эти пучки сохраняют свою структуру с точностью до масштаба. Они получаются с помощью дифракционных оптических элементов (ДОЭ) с определенным распределением фазы и формируют в фокусе линзы распределение интенсивности в виде светового кольца.

Были получены зависимости радиуса основного кольца (рис. 1) и эффективности от порядка гипергеометрических пучков. Под эффективностью понимается отношение световой энергии, которая попадает в область светлого кольца, к общей энергии пучка. При

измерении радиусов за единицу измерения принимался радиус первого основного кольца гипергеометрического пучка с номером $n = 1$.

Как видно из табл. 1, с возрастанием порядка гипергеометрического пучка радиус кольца увеличивается, а эффективность падает.

2. Измерение максимальной интенсивности гипергеометрического пучка в зависимости от его порядка и параметра γ

При манипулировании микрообъектами также важно знать мощность пучка. Например, при манипулировании биологическим микрообъектом, таким как клетка, необходимо, чтобы пучок был не слишком сильным, чтобы не повредить ее.

И наоборот, когда рассматривается более массивный микрообъект, для воздействия на него нужна большая сила, которая напрямую зависит от мощности пучка.

Гипергеометрические пучки имеют также параметр γ , при $\gamma = 0$ гипергеометрический пучок становится обычным вихревым пучком [6].

В работе были получены зависимости максимальной интенсивности гипергеометрического пучка от его порядка n при $\gamma = 0$ (рис. 2), а также зависимости максимальной интенсивности от параметра γ при $n = 1$, $n = 3$ и $n = 10$ (рис. 3). Полученные результаты нормировались на 1 относительно пучка с $n = 1$ и $\gamma = 0$.

Таблица 1. Зависимость радиуса кольца и эффективности от порядка гипергеометрического пучка

Порядок оптического «вихря»	Радиус кольца	Эффективность, %
1	1,00	83,45
2	1,54	82,08
3	2,08	76,38
4	2,61	75,84
5	3,08	74,69
6	3,54	73,46
7	4,00	71,52
8	4,38	70,34
9	4,92	68,73
10	5,31	67,84

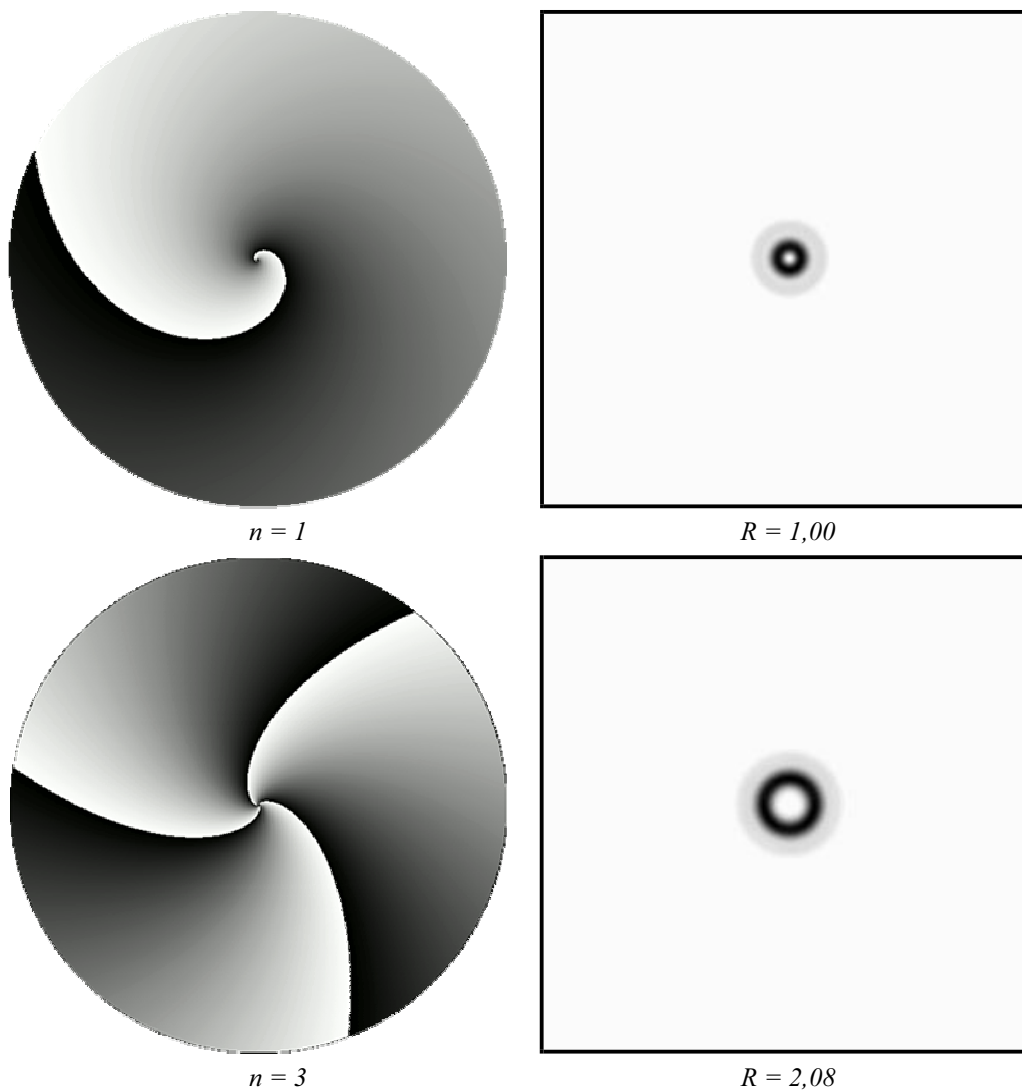


Рис. 1. Фазы ДОЭ, формирующие гипергеометрические пучки

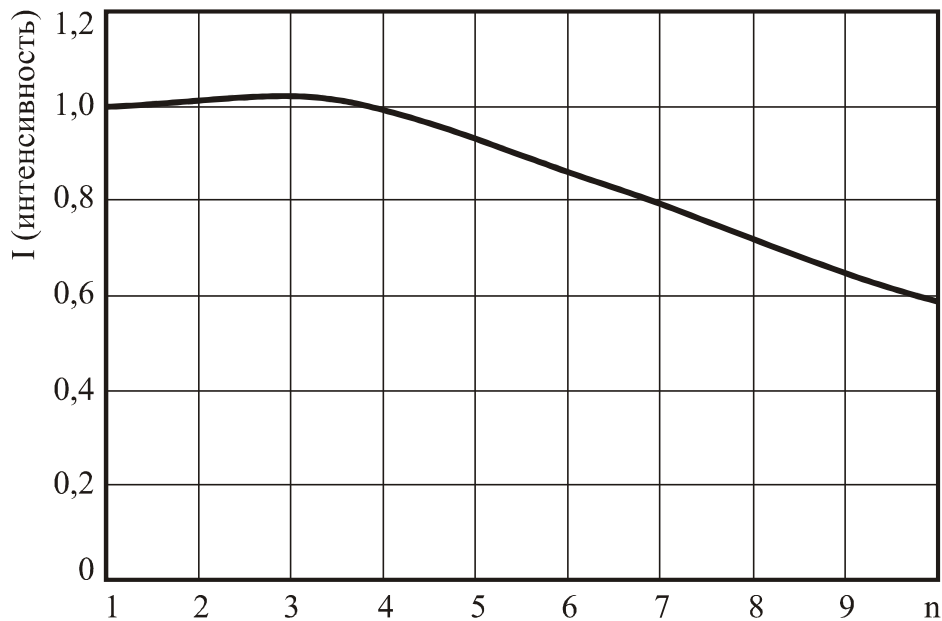


Рис. 2. Зависимость максимальной интенсивности гипергеометрического пучка от его порядка n при $\gamma = 0$

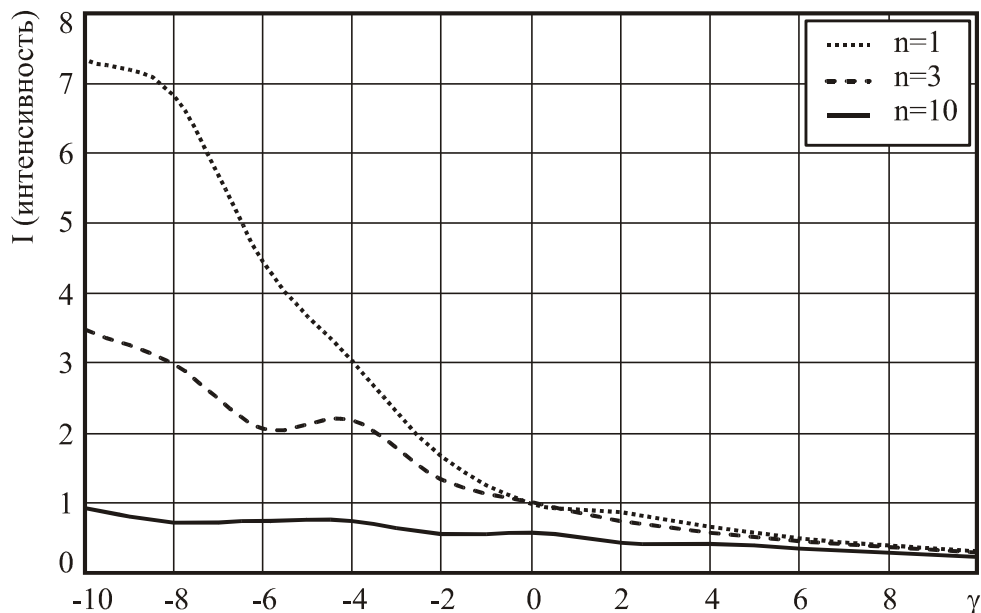


Рис. 3. Зависимость максимальной интенсивности гипергеометрического пучка от параметра γ при $n = 1$, $n = 3$ и $n = 10$

Как видно из рисунков, интенсивность убывает с возрастанием порядка n и увеличением модуля γ в положительном направлении и возрастает с увеличением модуля γ в отрицательном направлении.

3. Исследование свойств оптических «вихрей» с несколькими световыми кольцами

При всех вышерассмотренных ДОЭ в фокусе линзы наблюдается одно светлое кольцо. Для получения нескольких колец

используются ДОЭ, подобные тем, которые представлены на рис. 4. Как получается такой рельеф, легко представить, если мысленно разрезать на кольца ДОЭ, рассматриваемые выше, и повернуть каждое второе кольцо на 180 градусов. В фокусе линзы число наблюдаемых светлых колец будет равно числу колец, на которые разделен используемый ДОЭ.

На практике иногда бывает необходимо, чтобы в фокусе линзы было несколько светлых колец. Например, для захвата непро-

зрачной частицы, которая в отличие от прозрачных частиц выталкивается из области светлого кольца, поэтому для ее захвата можно использовать два кольца, в результате чего выталкиваемая из области светлых колец частица будет располагаться между ними. Опять же, в зависимости от свойств частицы удобно использовать оптический «вихрь» с определенными характеристиками. Поэтому были изучены некоторые свойства таких оптических «вихрей». В частности, рассматривались ДОЭ, формирующие два световых кольца. Были получены зависимости отношения радиусов колец $R1/R0$, на которые был поделен ДОЭ (рис. 5), от порядка оптического «вихря», вначале при условии, что световые кольца в фокусе линзы обладают равными энергиями (рис. 6а), а за-

тем при условии, что оба кольца имеют одинаковую яркость (рис. 6б). Результаты исследований представлены в табл. 2 и на рис. 7.

Заключение

Были получены зависимости размеров, эффективности световых колец от порядка оптического «вихря». Показано, как изменяется мощность световых колец в зависимости от порядка гипергеометрического пучка и параметра γ . Получен ряд свойств оптических пучков с мульти-«вихрями», которые позволяют манипулировать непрозрачными частицами. Все эти результаты можно использовать при выборе оптического «вихря» для манипулирования частицей с определенными свойствами.

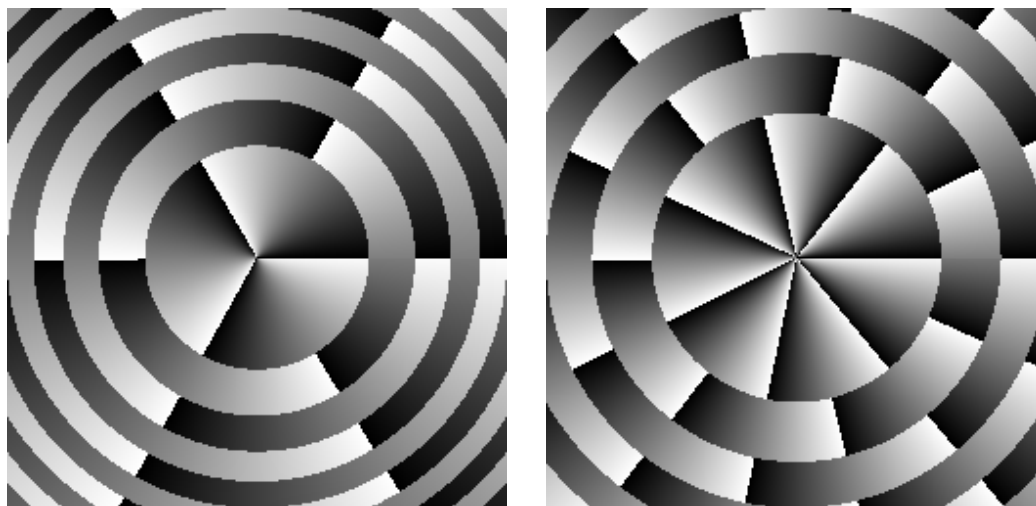


Рис. 4. ДОЭ для формирования набора световых колец

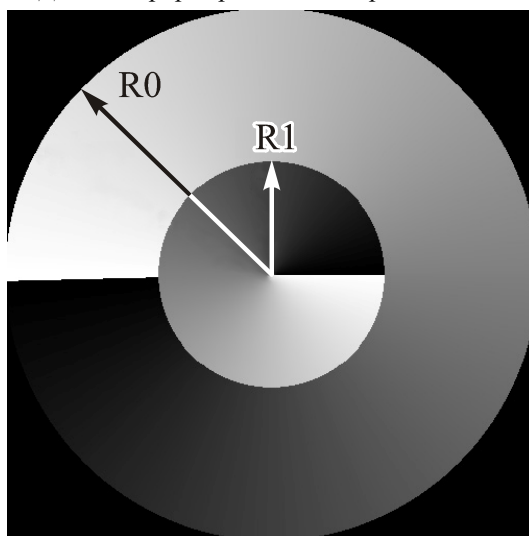
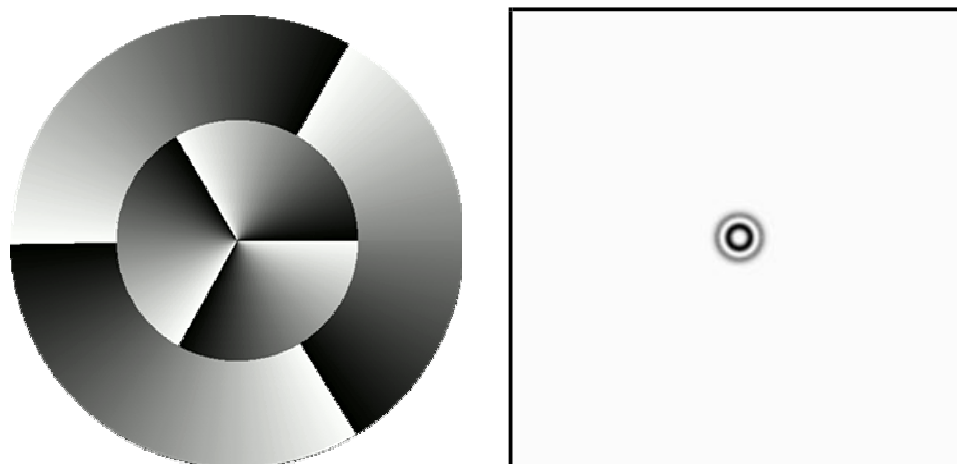
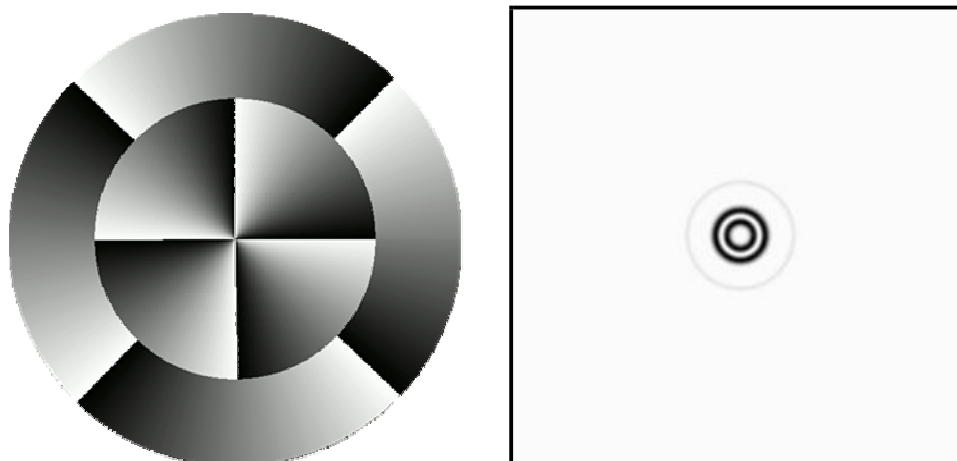


Рис. 5. Обозначения $R1$ и $R0$



а) Порядок = 3 $R1/R0=0,53$



б) Порядок = 4 $R1/R0=0,618$

Рис. 6. ДОО и соответствующие им световые кольца с равными энергиями (а) и равными яркостями (б)

Таблица 2. Зависимость отношения $R1$ к $R0$ от порядка оптического «вихря» при условии равных энергий и при условии равных яркостей колец

Порядок оптического «вихря»	$R1/R0$ при равной яркости	$R1/R0$ при равной энергии
1	0,55	0,427
2	0,572	0,491
3	0,596	0,530
4	0,618	0,567
5	0,634	0,590
6	0,655	0,607
7	0,672	0,620
8	0,685	0,636
9	0,695	0,652
10	0,705	0,663

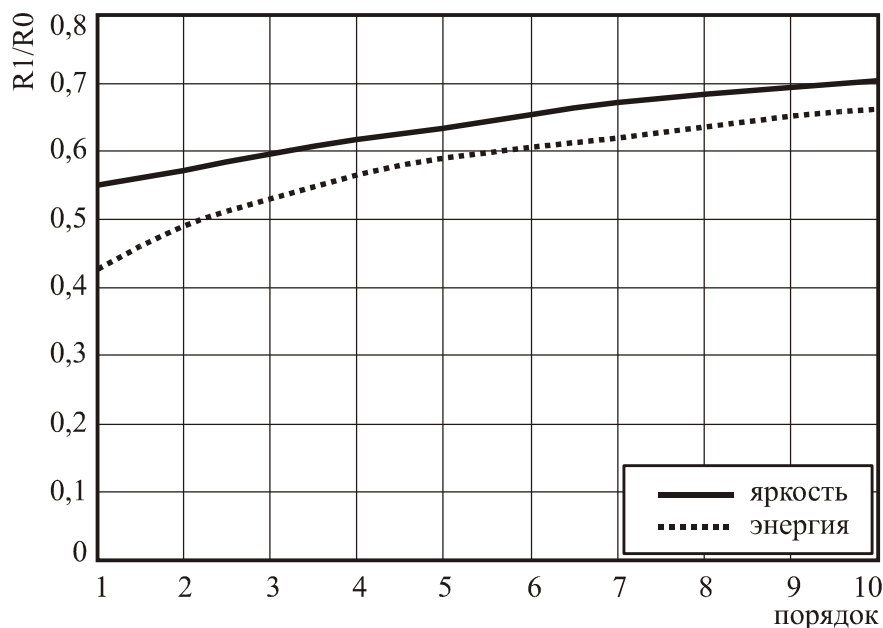


Рис. 7. Зависимость отношения $R1$ к $R0$ от порядка оптического «вихря» при условии равных энергий и при условии равных яркостей колец

Библиографический список

1. **Durnin, J.** Diffraction-free beams [текст] / J. Durnin, J.J.Jr Miceli, J.H. Eberly // Phys. Rev. Lett. – 1987. – V.58. – P.1499–1501.
2. **Sigman, A.E.** Lasers, University Science [текст] / A.E. Sigman – Mill Valley, Calif, 1986.
3. **Скиданов, Р.В.** Расчет силы взаимодействия светового пучка с микрочастицами произвольной формы [текст] / Р.В. Скиданов // Компьютерная оптика. – 2005. – Вып.28. – С.18-22.

4. **Котляр, В.В.** Гипергеометрические моды [текст] / В.В. Котляр [и др.] // Компьютерная оптика. – 2006. – Вып. 30. – С.16-22.

5. **Kotlyar, V.V.** Hypergeometric modes [текст] / V.V. Kotlyar [and other] // Opt. Lett.. – 2007. – April 1. – Vol.32, No.7, – p.742-744.

6. **Kotlyar, V.V.** Generation of phase singularity through diffracting a plane or Gaussian beam by a spiral phase plate, [текст] / V.V. Kotlyar [and other] // J. Opt. Soc. Am. A. – 2005. – V.22, no.5. – P. 849-861.

References

1. **Durnin, J.** Diffraction-free beams / J. Durnin, J.J.Jr Miceli, J.H. Eberly // Phys. Rev. Lett. – 1987. – V.58. – P.1499–1501.
2. **Sigman, A.E.** Lasers, University Science / A.E. Sigman – Mill Valley, Calif, 1986
3. **Skidanov, R.V.** Calculation of interaction force of a light beam with microparticles of arbitrary shape / R.V. Skidanov // Computer Optics. – 2005. – N 28. – P.18-22. – [in Russian].

4. **Kotlyar, V.V.** Hypergeometrical modes / V.V. Kotlyar [and other] // Computer Optics. – 2006. – N 30. – P.16-22. – [in Russian].

5. **Kotlyar, V.V.** Hypergeometric modes / V.V. Kotlyar [and other] // Opt. Lett. – 2007, April 1. – Vol.32, No.7. – p.742-744.

6. **Kotlyar, V.V.** Generation of phase singularity through diffracting a plane or Gaussian beam by a spiral phase plate / V.V. Kotlyar [and other] // J. Opt. Soc. Am. A. – 2005. – V.22, no.5. – P. 849-861.

CHARACTERIZATION OF OPTICAL VORTICES FOR MICROMANIPULATION PURPOSES

© 2008 A.A. Morozov

Samara State Aerospace University

Light beams with the orbital angular momentum in the problem of optical trapping and rotation of micro-objects are studied. Diffractive optical elements that generate a set of concentric rings of equal intensity for the optical trapping and rotation of opaque micro-objects are considered.

Vortical beams, gradient forces, hypergeometrical beams

Сведения об авторе

Морозов Андрей Андреевич, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева, студент, лаборант НИЛ-35, e-mail: ragefalcon@mail.ru . Область научных интересов: дифракционная оптика.

Morozov Andrey Andreevich, S.P. Korolyov Samara State Aerospace University, student, laboratorian NIL-35, e-mail: ragefalcon@mail.ru . Area of scientific interests: diffraction optics.