

## ГЕНЕРАЦИЯ ШИРОКОАПЕРТУРНОГО ЛАЗЕРА С НАСЫЩАЮЩИМСЯ ПОГЛОТИТЕЛЕМ В КВАЗИКОНФОКАЛЬНОМ РЕЗОНАТОРЕ

© 2006 А.П.Заикин, Н.Е. Молевич

Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН

Проведено численное моделирование структуры оптического поля в лазере с насыщающимся поглотителем. Показано, что в квазиконфокальном резонаторе с кольцевой апертурой лазер с насыщающимся поглотителем излучает световое поле с вращающимся автоволновым профилем в виде одного или двух уединённых импульсов. Определена скорость вращения импульсов.

### Введение

Широкоапертурные лазеры способны генерировать световые пучки со сложным поперечным профилем, изменяющимся во времени. В работах [1, 2] было продемонстрировано, что широкоапертурный лазер с насыщающимся поглотителем (НП), снабженный устойчивым резонатором с радиусом кривизны вогнутого зеркала в сотни раз превосходящим длину резонатора  $R \gg 100L$ , способен излучать оптическое поле с автоволновым профилем в виде бегущей квазипериодической волны (рис. 1). Свойствами этого поля можно эффективно управлять, изменяя параметры резонатора. Один из предельных вариантов устойчивого резонатора – конфокальный резонатор ( $R = L$ ), весьма интересен с этой точки зрения, потому что для него число Френеля может принимать большие значения при умеренных размерах

апертуры [3]. Именно при такой конфигурации резонатора были получены многие автоволновые картины в профиле оптического поля в виде распространяющихся с определённой скоростью автоволновых уединённых импульсов (отдельных пятен генерации) [4]. В настоящей работе впервые исследована генерация лазера с НП, снабженного квазиконфокальным резонатором.

### Расчетная модель лазера

В расчетах была использована модель лазера и метод расчёта, аналогичные используемым в работах [1, 2]. Рассмотрен случай полусимметричного резонатора, где вогнутое зеркало имеет ограниченный размер, а второе зеркало полагалось плоским и с неограниченным размером. Вогнутое зеркало имело форму кольца с внешним и внутренним радиусом  $R_e$  и  $R_i$ . Как было отмечено в рабо-

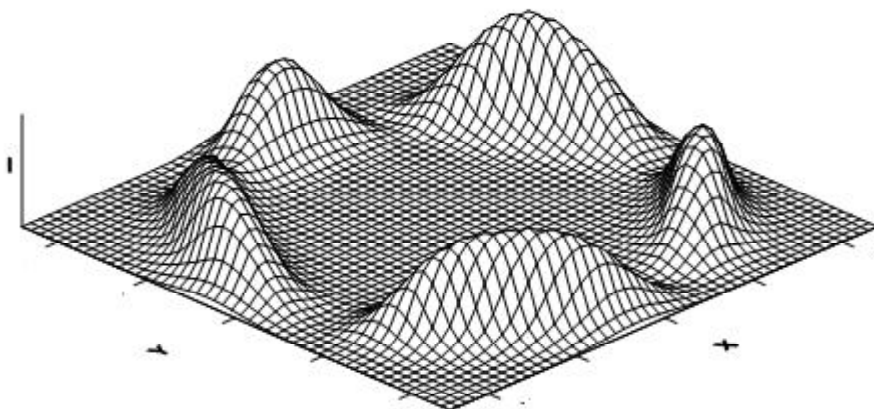


Рис. 1. Зависимость интенсивности  $I(x, y)$  оптического поля на кольцевой апертуре в лазере с насыщающимся поглотителем и устойчивым резонатором с радиусом кривизны вогнутого зеркала  $R = 300L$ .

тах [1,2], устойчивый резонатор формирует оптическое поле которое можно рассматривать как многопроходную моду. Такое поле в пустом устойчивом резонаторе воспроизводится через некоторое число обходов резонатора [2]

$$n = [\arccos(g^{0.5})/\pi]^{-1}, \quad g=1-L/2R,$$

где  $R$  – радиус кривизны вогнутого зеркала. Так, например, для случая конфокального резонатора число обходов поля составит  $n=4$ , для случая  $R=2L$  возникает  $M$  – мода с числом обходов  $n=6$ .

Ширина расчетной области  $a$  полагалась такой, что число Френеля для случая плоскопараллельного резонатора  $N_0 = a^2/(\lambda L)$  равно 40. Насыщающийся поглотитель считался безынерционным.

Уравнения, описывающие генерацию лазера, при наличии НП имеют вид [1,2]

$$\frac{\partial E}{\partial t} - i \frac{\partial^2 E}{\partial x^2} = \frac{\nu}{2} E (N - N_f - 1)$$

$$\frac{dN}{dt} = N_e - N(1 + I)$$

$$N_f = \frac{N_{fe}}{(1 + I\delta)}$$

Здесь использованы безразмерные переменные:  $\nu$  – отношение времен жизни инверсии и затухания поля в резонаторе;  $N, N_f$  – разность населенностей двухуровневых частиц в активной среде и НП, а  $N_e, N_{fe}$  – эти же величины в отсутствии генерации;  $E$  и  $I=|E|^2$  – амплитуда и интенсивность лазерного поля;  $\delta$  – отношение интенсивностей насыщения активной среды и НП. Параметры лазерной системы выбирались такими, при которых ранее в устойчивом резонаторе был получен автоволновой профиль в виде бегущей периодической волны (рис. 1):  $N_e = 20, N_{fe} = 14, \nu = 4$ .

### Результаты расчетов

В начале расчетов в резонаторе, близком к конфокальному ( $R \sim (1-2)L$ ), задавалось случайное распределение оптического поля. Типичные картины установившегося поля показаны на рис 2-5.

Рис. 2, 3 демонстрирует изменение интенсивности поля в моменты времени  $t$ , кратные периоду обхода резонатора, в сечениях по центральной линии кольцевой апертуры лазера. На рис. 4, 5 показан мгновенный вид зависимости интенсивности лазерного поля на апертуре кольцевого зеркала от поперечных координат. На протяжении многих расчетных итераций присутствовали две

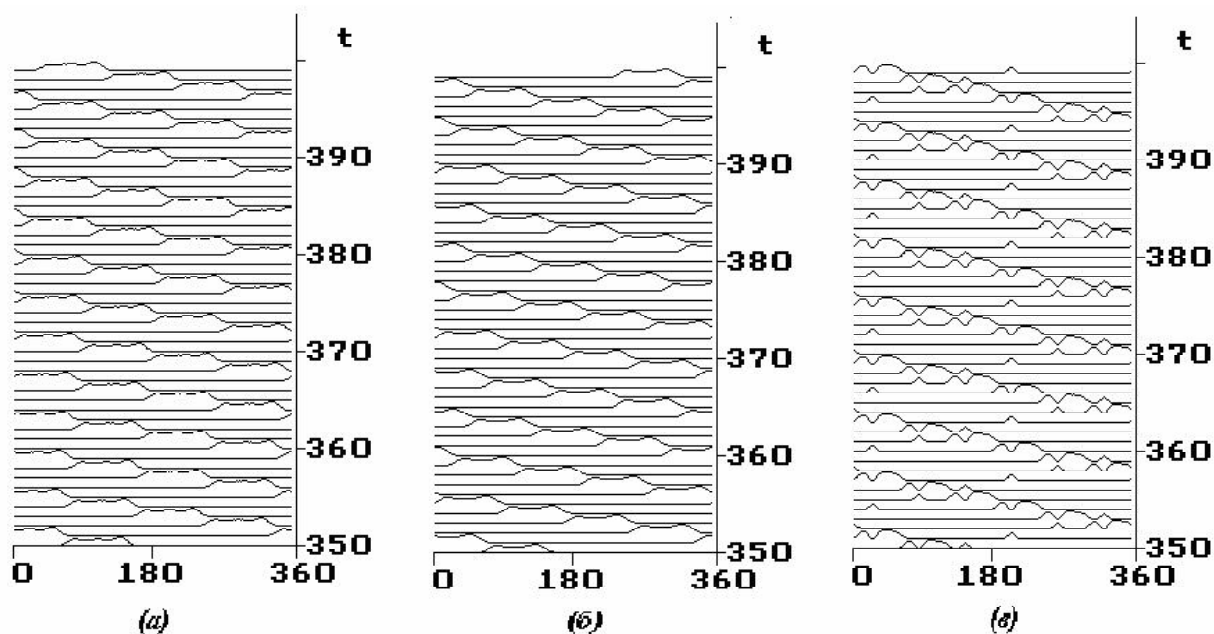


Рис. 2. Динамика светового поля на кольцеобразном зеркале при следующих параметрах:  $R_e = 0,6a, R_i = 0,5a, R = 1,02L, 1,1L$  или  $2L$  для вариантов (а) – (в), соответственно; по оси абсцисс отложен угол поворота по кольцевой апертуре

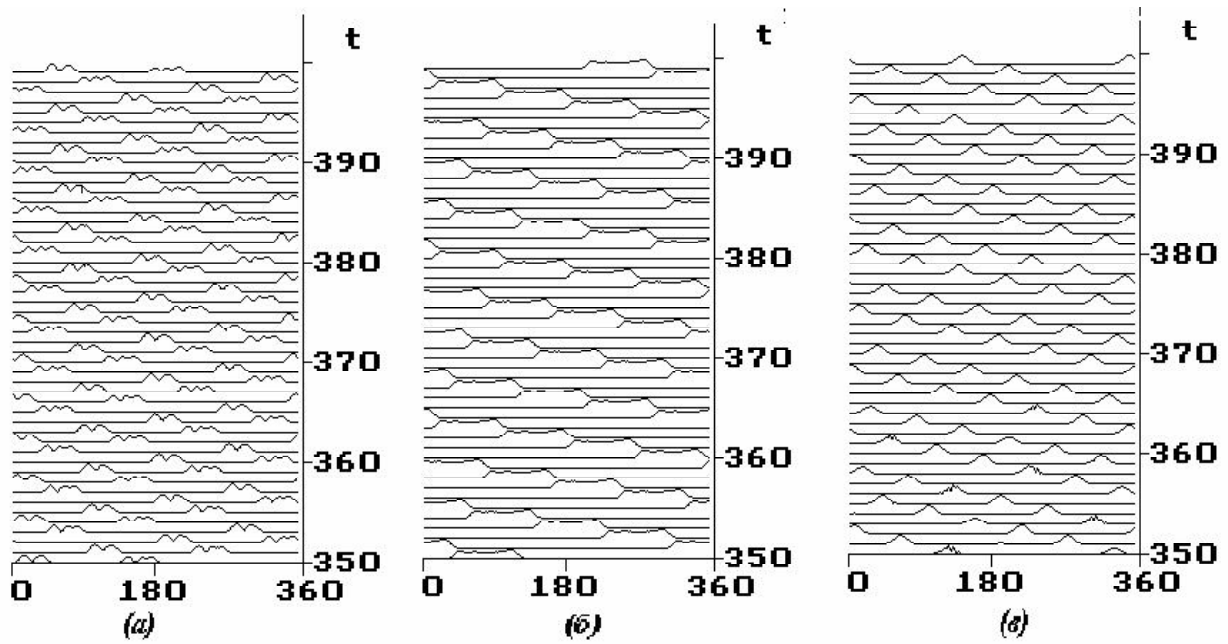


Рис. 3. Динамика светового поля на кольцеобразном зеркале при следующих параметрах кольцевого зеркала:  $R_e = 0.8a$ ,  $R_l = 0.9a$ ,  $R = 1.02L$ ,  $1.1L$  или  $2.1L$  для вариантов (а) – (в), соответственно; по оси абсцисс отложен угол поворота по кольцевой апертуре

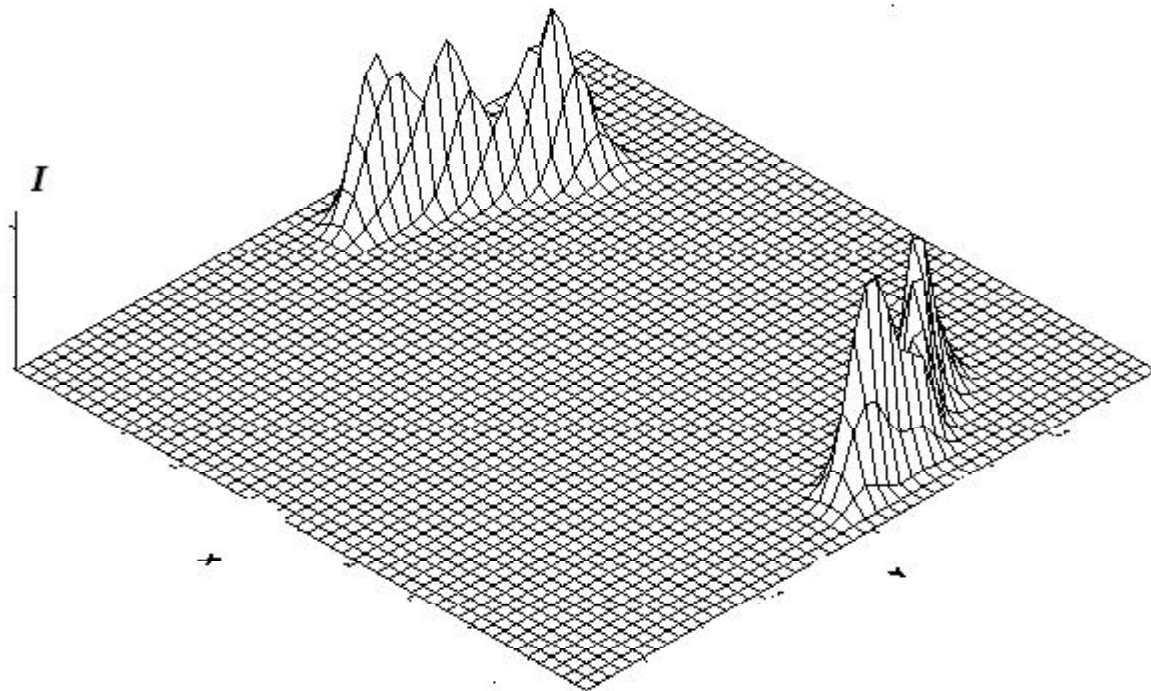
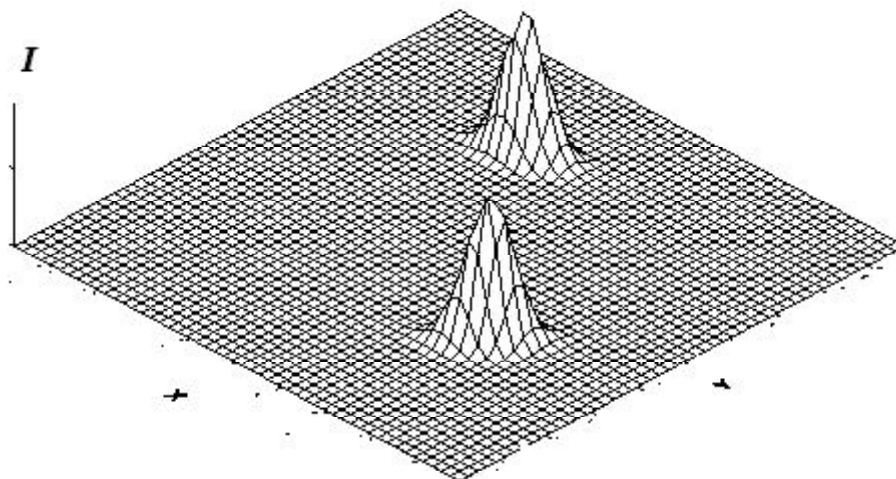


Рис. 4. Зависимость интенсивности  $I(x, y)$  оптического поля на кольцевой апертуре в лазере с насыщающимся поглотителем и квазиконфокальным резонатором при условиях рис. 2в

встречных световых волны, но в результате конкуренции остается лишь одно из этих полей (рис. 2а,б; 3). В некоторых, достаточно редких, вариантах расчетов сохранялся малый островок встречного поля – рис. 2в. В реальных условиях дефекты зеркала и актив-

ной среды, шумы различной природы скорее всего приведут к эрозии такого малого пятнышка света.

Согласно проведенным расчётам, периодические автоволны в квазиконфокальном лазере не существуют. Если размер кольце-



**Рис. 5.** Зависимость интенсивности  $I(x, y)$  оптического поля на кольцевой апертуре в лазере с насыщающимся поглотителем и квазиконфокальным резонатором при условиях рис. 3в

образного зеркала невелик, то световое поле сохраняется всегда в виде одного уединённого импульса. Когда кольцеобразное зеркало больше в размерах, то поле излучения формируется в виде одного или двух уединённых импульсов (рис. 2-5). Такие импульсы расположены не точно напротив друг друга и могут различаться по форме. Они могут быть, как мультигорбными (рис. 4), так и одногорбными (рис. 5). Скорость смещения этих импульсов по апертуре такая же, что и при движении лучей в соответствующей М- моде устойчивого резонатора, то есть равна  $c/n$ .

### Заключение

Полученные результаты свидетельствуют о том, что в лазере с насыщающимся поглотителем и квазиконфокальным резонатором возможна генерация бегущих автоволновых профилей светового поля в виде одного или двух уединённых импульсов одногорбного или мультигорбного типов. Абсолютная величина

апертуры может быть при этом очень мала, поэтому для генерации подобных световых структур снимается ограничение по поперечным размерам лазеров. Скорость вращения импульсов по апертуре регулируется выбором конфигурации резонатора.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Заикин А.П.* Спектр и конкуренция автоволн в широкоапертурном лазере с просветляющимся фильтром // *Квантовая электроника*. 2000. Т. 30. №11.
2. *Заикин А.П.* Режимы генерации лазера с кольцевой апертурой // *Квантовая электроника*. 2001. Т. 31. №7.
3. *Ананьев Ю.А.* Оптические резонаторы и лазерные пучки. М.: Наука, 1990.
4. *G. Sleky, K. Staliunas, C.O. Weiss.* Spatial localized structures in resonators with saturable absorber // *Optics Communications*. 1998. Vol. 149. № 1-3.

## GENERATION OF WIDEAPERTURE LASER WITH SATURABLE ABSORBER IN QUASICONFOCAL RESONATOR

© 2006 A.P. Zaikin, N.E. Molevich

Samara Branch of Physics Institute named for P.N. Lebedev of Russian Academy of Sciences

Numerical stimulation of an optical field structure is conducted in the laser with the saturable absorber. It is shown that the laser with the saturable absorber generates the field with one or two rotating self-sustaining solitary pulses in the quasiconfocal resonator. The rotation velocity is defined.