

САМОФОКУСИРОВКА ВОЛНОВЫХ ПУЧКОВ С ПЛАТООБРАЗНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ИНТЕНСИВНОСТИ¹⁾

*А.А.Амосов, Н.С.Бахвалов, Я.М.Жилейкин,
В.В.Коробкин, А.М.Прохоров, Р.В.Серов*

Методом численного исследования на ЭВМ показано, что при самофокусировке осесимметричных волновых пучков с платообразным распределением интенсивности может образовываться только один фокус. При этом втекающая в фокус полная мощность может значительно превышать критическую.

Изучению распространения мощных волновых пучков в нелинейных средах посвящено большое количество как экспериментальных, так и теоретических работ²⁾. К настоящему времени выяснены многие важные свойства этого явления. Большой вклад в исследование процесса

¹⁾ Достаточно подробная библиография по данному вопросу приведена в обзоре [1].

распространения волновых пучков внесли работы по численному моделированию этого явления на ЭВМ. Основное внимание при этом было уделено пучкам с гауссовым поперечным распределением интенсивности. В работах [2, 3] показано, что в процессе распространения такого пучка образуется многофокусная структура, причем число фокусов примерно равно $P/P_{кр}$, где P — полная мощность пучка, $P_{кр}$ — критическая мощность. При этом в каждый фокус входит мощность примерно равная $P_{кр}$.

Однако для полного понимания всей картины распространения мощных волновых пучков в нелинейных средах необходимо изучение пучков с начальным распределением достаточно произвольного вида.

В настоящей работе сообщается о результатах численного исследования на ЭВМ БЭСМ-6 распространения волновых пучков с начальным распределением интенсивности вида

$$I = I_0 e^{-(r/a)^N}, \quad (1)$$

где a — начальный радиус пучка, $N \geq 2$. Фронт волны на входе в нелинейную среду был плоским.

Пучки такого вида более приемлемы в мощных лазерах, так как при больших значениях параметра N позволяют лучше заполнять апертуру усилителей.

Рассматривалось стационарное во времени дифференциальное уравнение для нелинейной среды керровского типа с трехфотонным поглощением

$$\Delta_{\perp} E + 2ik \frac{\partial E}{\partial z} + \frac{k^2 n_2}{n_0} |E|^2 E + ik^2 m_4 |E|^4 E = 0. \quad (2)$$

Здесь $k = \frac{\omega}{c} n_0$, n_0 , n_2 — линейный и нелинейный показатели преломления, m_4 — коэффициент трехфотонного поглощения. В расчетах были приняты следующие значения параметров: $k = 6 \cdot 10^4 \text{ см}^{-1}$, $n_2/n_0 = 10^{-12}$ ед. CGSE, $m_4 = 3 \cdot 10^{-20}$ ед. CGSE, $a = 1 \text{ см}$. Параметр N варьировался от 2 до 32, начальная мощность пучка P была в пределах $10 P_{кр} \leq P \leq 50 P_{кр}$. Методика расчета изложена в [4].

Результаты расчетов при $N = 2$ оказались в хорошем согласии с результатами, полученными в работах [2, 3]. Для значений $N > 2$ характер распространения пучка сильно меняется. В качестве примера на рис. 1 для $P = 10 P_{кр}$ и $N = 8$ приведены поперечные распределения интенсивности для различных расстояний от входа в нелинейную среду. Как видно из рисунков, в поперечном распределении образуется радиально-симметричное кольцо, которое постепенно стягивается к оси и формирует фокус.

На рис. 2 приведены зависимости от расстояния Z полной мощности в пучке и интенсивности на оси. Эти зависимости приведены для Z в окрестности фокуса. При $Z = 8000 \text{ см}$ в кольце сосредоточена мощность равная $9 P_{кр}$, при этом полная мощность пучка $9,9 P_{кр}$. При $Z = 9410 \text{ см}$ в кольце сосредоточена мощность $5,8 P_{кр}$ при полной мощности пучка $7,7 P_{кр}$. Максимальная интенсивность на оси в фокусе достигается при $Z = 9440 \text{ см}$. Полная мощность пучка после прохождения фокуса равна $2,4 P_{кр}$.

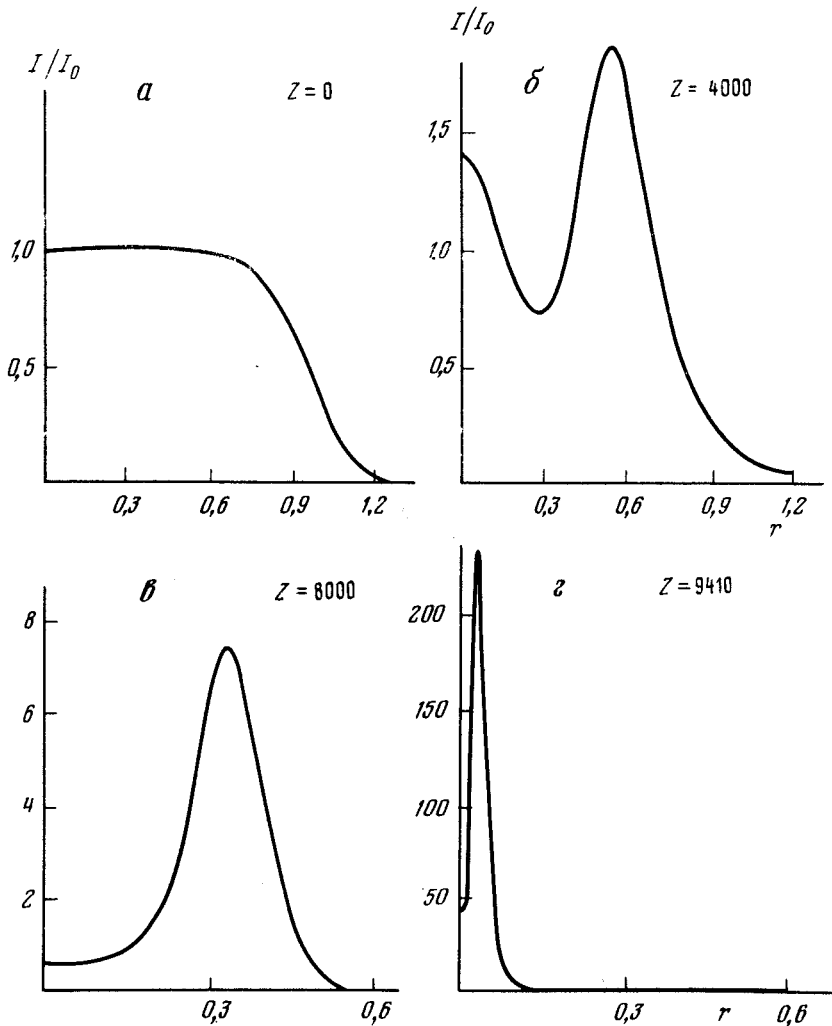


Рис. 1

Аналогичные результаты были получены и при других N и P . При больших N вначале образуется несколько радиально-симметричных колец, которые по мере распространения пучка постепенно стягиваются к оси. При этом кольца сливаются друг с другом и полное число колец уменьшается. Если в кольце формируется мощность более критической то на оси возникают фокусы. Так, при $N = 16$ и $P = 30 P_{кр}$ было зафиксировано появление двух фокусов, причем в каждый из них входит мощность значительно превышающая критическую. Хотя численные расчеты и выполнены для радиуса входного пучка $a = 1$ см и волнового вектора $K = 6 \cdot 10^4 \text{ см}^{-1}$, положение фокуса легко пересчитать для произвольных a и k , пользуясь соотношением $ka^2/Z = \text{const}$.

Как следует из результатов расчетов, картина распространения волновых пучков с $N > 2$ существенно отличается от многофокусной структуры, реализуемой для $N = 2$. На наш взгляд основная причина этого отличия заключается в том, что для $N > 2$ линейная дифракция в самом начале приводит к значительной трансформации профиля поперечного

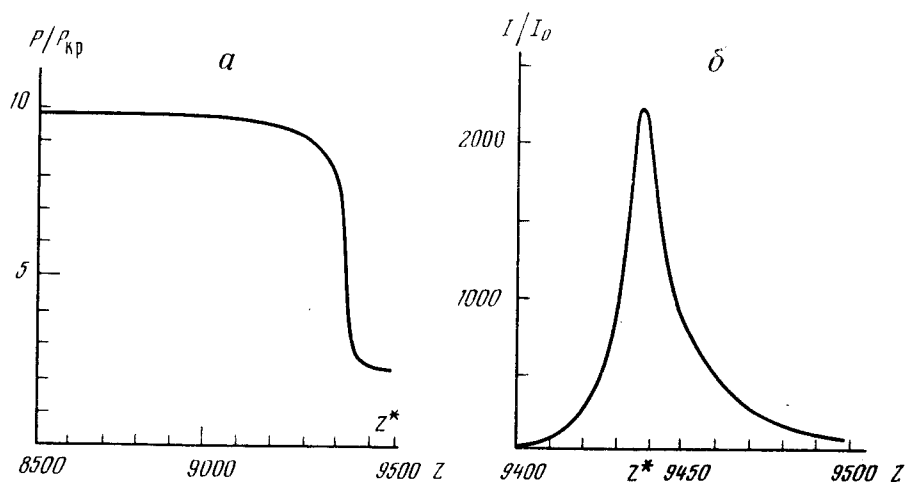


Рис. 2

распределения. Образующиеся при этом дифракционные кольца оказывают затем решающее влияние на процесс самофокусировки. Пучки же с гауссовским поперечным распределением интенсивности, как хорошо известно, распространяются в линейной среде без изменения поперечного профиля. (Отметим, что аналитическое решение задачи о самофокусировке волновых пучков с $N > 2$, предпринятое в работе [5] не позволило полностью проследить всю картину самофокусировки).

Значительный интерес представляет, в частности, полученный нами результат, что в фокус может входить мощность, значительно превышающая $P_{кр}$ и составляющая заметную долю от всей первоначальной мощности пучка.

В заключение отметим, что даже, если поперечный профиль интенсивности первоначально является гауссовым, то он может искажаться при распространении волнового пучка в среде не только из-за нелинейности показателя преломления, но и вследствие других причин, например, вынужденного рассеяния Манделштама – Бриллюэна, порог которого может оказаться ниже порога самофокусировки. Такая трансформация профиля может приводить к значительному отклонению картины самофокусировки от многофокусной структуры даже для пучков с первоначально гауссовым профилем.

Физический институт
им. П.Н.Лебедева
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
6 июня 1979 г.

Литература

- [1] В.Н.Луговой, А.М.Прохоров. *УФН*, 111, 203, 1973.
- [2] А.Л.Дышко, В.Н.Луговой, А.М.Прохоров. *Письма в ЖЭТФ*, 6, 655, 1967.
- [3] А.Л.Дышко, В.Н.Луговой, А.М.Прохоров. *ЖЭТФ*, 61, 2305, 1971.
- [4] Сборник под ред. В.В.Воеводина "Численный анализ на фортране. Стандартные программы решения задач волновой физики". Изд. МГУ, 1979 г.
- [5] Н.Н.Розанов, В.А.Смирнов. *КЭ*, 5, 2538, 1978.