

УДК 530.182.551.510.42+535.621.33

А.А. ЗЕМЛЯНОВ*, А.Д. БУЛЫГИН*, О.В. МИНИНА**

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФИЛАМЕНТАЦИИ ФЕМТОСЕКУНДНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ, СФОКУСИРОВАННОГО АКСИКОНОМ И ПАРАБОЛИЧЕСКОЙ ЛИНЗОЙ

Исследована зависимость координаты начала филамента и его длины от начальной пиковой мощности излучения и его фокусировки в воздухе для аксикона и параболической линзы. Получены соотношения для вычисления длины филамента при фокусировке лазерного излучения параболической линзой и аксиконом в зависимости от мощности и фокусных расстояний.

Ключевые слова: самофокусировка, филаментация, аксикон, параболическая линза.

Введение

Самофокусировка лазерного излучения при его распространении в среде является одним из фундаментальных явлений нелинейной оптики. Она состоит в том, что при распространении фемтосекундного лазерного излучения в среде с кубичной нелинейностью интенсивность на оси пучка растет, вплоть до включения нелинейных механизмов, обусловленных механизмами насыщения и плазмообразования, которые останавливают рост интенсивности и приводят к формированию светящейся нити, называемой филаментом [1, 2].

Управление филаментацией возможно при изменении длительности и мощности фемтосекундных лазерных импульсов, а также за счет пространственной и временной (чирпирование) фокусировки. Пространственную фокусировку возможно осуществлять при помощи зеркал и линз [2, 3].

Несмотря на большое количество работ в этом направлении до сих пор не установлены соотношения для длины филаментации в зависимости начальной мощности лазерного излучения и степени его фокусировки. В этом направлении, однако, стоит отметить работу [4], в которой автором была установлена зависимость длины филамента от его начальной мощности логарифмического типа для случая коллимированного пучка.

Цель данной работы состоит в установлении зависимости длины филамента от начальной пиковой мощности пучка и его фокусировки в воздухе для аксикона и параболической линзы.

Метод решения и результаты

На основе анализа решения нелинейного уравнения Шредингера были построены зависимости координаты начала филамента и его длины от мощности для разных фокусных расстояний параболической линзы (рис. 1) и аксикона (рис. 2). Расчеты производились для линз с фокусным расстоянием $F = 2L_r$, $F = L_r$ и $F = 0,5L_r$, где $L_r = k_0 R_0^2 / 2$ – длина Релея светового пучка с гауссовым профилем на выходе их апертуры; R_0 – радиус светового пучка по e^{-1} от пиковой интенсивности; $k_0 = 2\pi/\lambda_0$ – волновое число; λ_0 – несущая длина волны. Под длиной филамента понимается протяженность участка, на котором плотность свободных электронов превышает уровень 10^{19} м^{-3} .

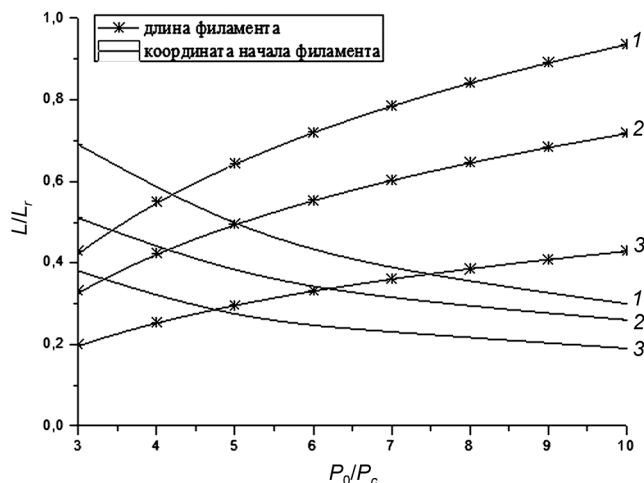


Рис. 1. Изменение координаты начала филамента и его длины от мощности для фокусных расстояний параболической линзы $2L_r$ (кр. 1); L_r (кр. 2); $0,5L_r$ (кр. 3)

Длина филамента при фокусировке лазерного излучения параболической линзой вычисляется по формуле, полученной на основе анализа численных данных:

$$L_f / L_r = \sqrt{0,09(F / L_r) \times \ln(0,94P / (F / L_r)^{0,02})},$$

где $P = P_0 / P_c$ – отношение мощностей; $P_c = \lambda_0^2 / 2\pi n_0 n_2$ – критическая мощность самофокусировки; n_0 – невозмущенное значение показателя преломления; n_2 – коэффициент нелинейности в разложении показателя преломления n в нелинейной среде $n = n_0 + n_2 I$.

При фокусировке лазерного излучения аксиконом за фокусное расстояние принимается величина $F = L_r \operatorname{tg} \alpha$, где α – угол наклона аксикона.

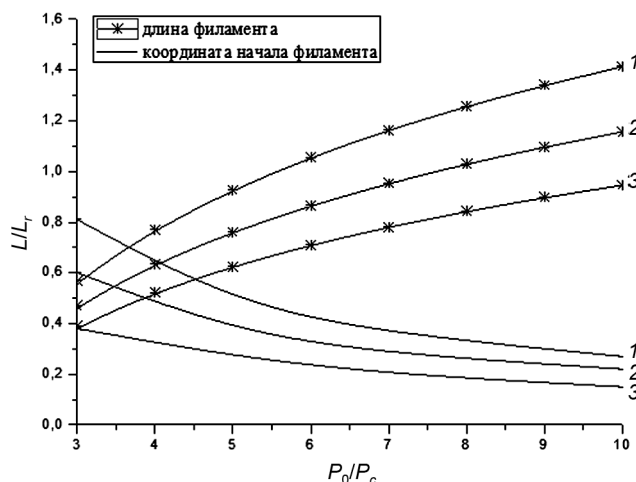


Рис. 2. Изменение координаты начала филамента и его длины от мощности для фокусных расстояний аксикона $2L_r$ (кр. 1); L_r (кр. 2); $0,5L_r$ (кр. 3)

Длину филамента в этом случае можно вычислить по формуле:

$$L_f / L_r = 0,57F^{0,3} \times \ln(0,76P / (F / L_r)^{0,02}).$$

Заключение

На основе полученных результатов можно сделать выводы, что, во-первых, при увеличении мощности лазерного излучения и фокусного расстояния длина филамента увеличивается, что согласуется с экспериментальными результатами, а координата начала филамента сдвигается от источника лазерного излучения вне зависимости от вида используемой линзы, во-вторых, для лазерного излучения одинаковой мощности фокусировка аксиконом дает в среднем в два раза более протяженные филаменты, чем параболическая линза, при этом они будут располагаться на большем расстоянии от источника лазерного излучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кандидов В.П., Шленов С.А., Косарева О.Г. // Квант. электрон. – 2009. – Т. 39. – № 3. – С. 205–228.
2. Boyd R.W., Lukishova S.G., and Shen Y.R. Self-focusing: Past and Present. – Springer Science + Business Media: LLC, 2009. – 605 p.
3. Polynkin P., Kolesik M., Roberts A., et al. // Opt. Express. – 2008. – V. 16. – No. 20. – P. 15733–15740.
4. Couairon A. Filamentation length of powerful laser pulses // Appl. Phys. B. – 2003. – V. 76. – P. 789–792.

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

Поступила в редакцию 20.07.12.

**Национальный исследовательский Томский государственный университет,
г. Томск, Россия

E-mail: olga_minina@mail.ru