

О потерях и пространственных характеристиках мод широкоапертурного резонатора Фабри–Перо в случае периодического пространственного возмущения фазы излучения на одном из зеркал

Н.Н.Елкин*, В.И.Леденев**

Исследованы потери и пространственные характеристики мод широкоапертурного резонатора Фабри–Перо в случае периодического пространственного возмущения фазы излучения в тонком слое среды, прилегающем к одному из зеркал резонатора. Показано, что при заданной амплитуде возмущения в общем случае существуют две области с разными масштабами возмущений, оказывающих заметное влияние на потери и искажения пространственных характеристик первых мод.

Ключевые слова: резонатор Фабри–Перо, модовый состав.

К настоящему времени уже отработаны методы исследования, позволяющие в большинстве случаев определять характеристики мод как пустых [1–3], так и заполненных активной средой [4] оптических резонаторов. С помощью этих методов определяются характеристики наиболее добротных мод резонатора при периодической модуляции коэффициента поглощения на одном из зеркал [5]. Представляет также интерес исследование влияния на характеристики мод периодического пространственного возмущения фазы излучения. Это может иметь место при деформации зеркал или при наличии оптических неоднородностей внутри резонатора.

В настоящей работе исследуется зависимость потерь и пространственных характеристик мод резонатора Фабри–Перо от фазовых возмущений, имеющих синусоидальную форму и малую (недостаточную для достижения системой точки вырождения) амплитуду. Возмущения находились в тонком слое среды, прилегающем к одному из зеркал. Исследование влияния этих возмущений проводилось в сечении, совпадающем со вторым зеркалом. В плоскостях зеркал за единицу измерения выбирался период некоторого возмущения l_0 . Зеркала располагались на расстоянии друг от друга $L = 0.5z_T$, где $z_T = kl_0^2/\pi$ – расстояние Тальбо, k – волновое число. Радиус зеркал a выбирался таким, чтобы число Френеля $N_{F1} = (a/l_0)^2$ было следующим: $N_{F1} = 4$, $N_{F2} = 16$ и $N_{F3} = 64$, т.е. таким, чтобы на радиусе a укладывались 2, 4 и 8 периодов возмущения l_0 .

В расчетах использовались возмущения с переменным периодом l , безразмерные волновые числа которых $w_u = l_0/l$ находились в диапазоне 0–8. Для каждого

значения масштаба возмущения из этого диапазона определялись комплексные собственные значения $\gamma_j(\varepsilon)$ моды j и по ним находились потери $L_j(\varepsilon) = 1 - |\gamma_j(\varepsilon)|^2$ для этой моды (ε – возмущение). В расчетах определялись также комплексные пространственные распределения $U_j(x; \varepsilon)$ собственных векторов и по ним – нормированные распределения их модулей

$$|U_{\text{norm}j}(x; \varepsilon)| = \frac{|U_j(x; \varepsilon)|}{\max_x |U_j(x; \varepsilon)|}.$$

Зависимости потерь L_j четырех первых мод от безразмерного волнового числа w_u приведены на рис.1 соответственно для N_{F1} , N_{F2} , N_{F3} и нечетного возмущения фазы $\sin(2\pi x/l)$. Из рис.1 видно, что существуют две области масштабов возмущений, хорошо отделенные одна от другой при $N_F = N_{F2}$, N_{F3} , в которых потери фундаментальной моды осциллируют при изменении масштаба. Обозначим их слева направо как области А и Т. Область А занимает диапазон $w_u = 0 - 0.5$ при $N_F = N_{F1}$ и более узкие диапазоны, прилегающие к началу координат, при больших N_F . Область Т начинается с пика L_0 при $w_u = 1$ и простирается в сторону увеличения w_u . Между ними существует область Z, в которой осцилляции отсутствуют.

Из рис.1 видно, что число осцилляций потерь L_j в области А растет с номером моды. Кроме того, с номером моды несколько увеличивается амплитуда осцилляций L_j . Такое поведение потерь является общим для всех рассматривавшихся возмущений и всех значений N_F . Возмущения типа $\sin(2\pi x/l)$, $-\cos(2\pi x/l)$ и $\cos(2\pi x/l)$ приводят к зависимостям $L_j(w_u)$, различающимся по числу и фазе осцилляций. Кроме того, от типа возмущения зависит характер деформации распределений $|U_{\text{norm}j}(x; \varepsilon)|$. В частности, несимметричные возмущения вызывают несимметричные деформации пространственных распределений (рис.2).

В области Т возмущения типа $\sin(2\pi x/l)$, $-\cos(2\pi x/l)$ и $\cos(2\pi x/l)$ приводят к достаточно близким зависимостям $L_j(w_u)$. Максимум потерь фундаментальной моды

*ФГУП «ГНЦ РФ – Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований», Россия, 142190 Троицк, Московская обл.; e-mail: elkin@triniti.ru

**Институт проблем лазерных и информационных технологий РАН, Россия, 140700 Шатура, Московская обл., Святоозерская ул., 1; e-mail: center@laser.nictl.msk.su

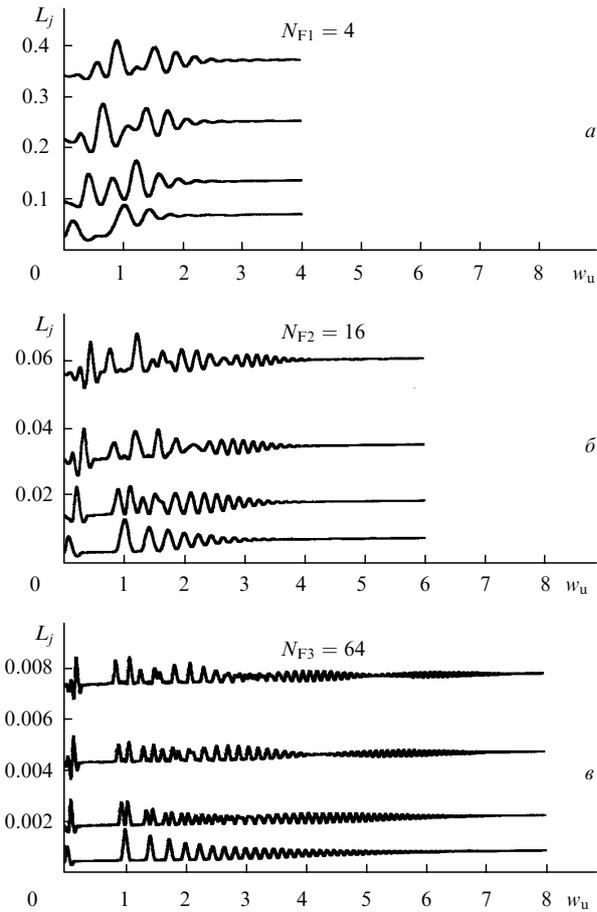


Рис.1. Зависимости потерь L_j фундаментальной и трех первых мод (кривые расположены снизу вверх) от безразмерного волнового числа пространственного возмущения w_u для разных чисел Френеля при возмущении фазы $\sin(2\pi x/l)$.

достигается в области $l \approx l_0$ (при $N_F = N_{F1}$ отклонение периода l , соответствующего максимуму потерь, от l_0 составляет около 3% и при $N_F = N_{F3}$ уменьшается до нуля). Число пиков в области Т увеличивается с ростом числа Френеля, причем они сужаются (см. рис.1). Из расчетных данных следует, что расположение пиков на оси w_u в области Т для фундаментальной моды соответствует \sqrt{n} , где n – номер пика, причем первым считается пик, приходящийся на $w_u = 1$. Такое расположение пиков соответствует кратному эффекту Тальбо, т. к. при размере ячейки $l = l_0/\sqrt{n}$ на промежутке $z_T/2 = l_0^2/\lambda$ уложится n интервалов, равных l^2/λ . С увеличением номера

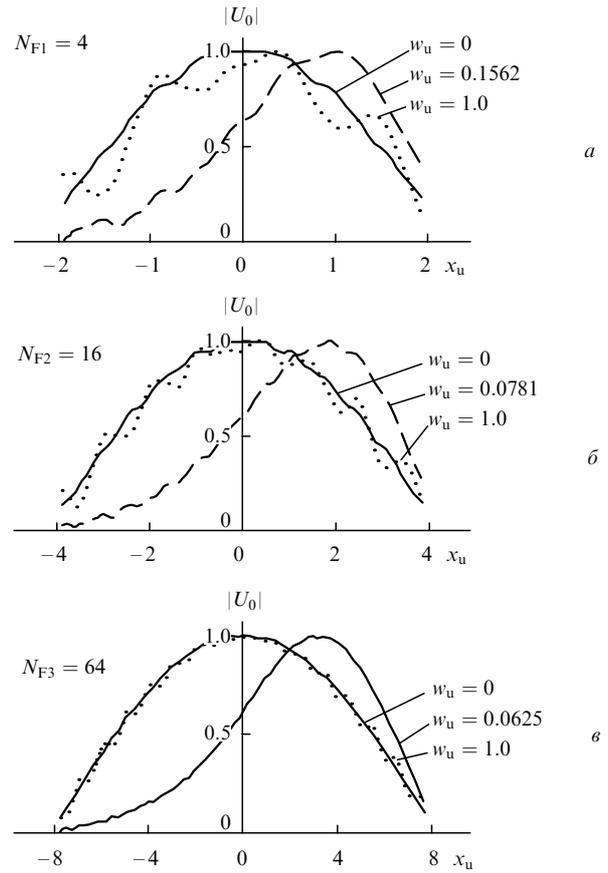


Рис.2. Зависимости распределений модуля фундаментальной моды $U_0(x_u)$ от числа Френеля N_F для исходных распределений ($w_u = 0$), распределений в точке максимума потерь в области А ($w_u = 0.0625, 0.0781, 0.1562$) и распределений в начале области Т ($w_u = 1$); $x_u = x/l_0, w_u = l_0/l, \sin(2\pi x/l)$ – возмущение фазы.

моды пики потерь раздваиваются (см. рис.1,б,в). Профиль фундаментальной моды в точках \sqrt{n} области Т оказывается искаженным, период искажений равен масштабу возмущения (рис.2).

В области Z распределения $|U_{\text{порн}j}(x; \epsilon)|$ менее деформированы, чем в областях А и Т.

1. Siegman A.E., Miller H.Y. *Appl. Opt.*, **9**, 2729 (1970).
2. Murphy W.D., Bernabe M.L. *Appl. Opt.*, **17**, 2358 (1978).
3. Latham W.P., Jr, Dente G.C. *Appl. Opt.*, **19**, 1618 (1980).
4. Елкин Н.Н. *Математическое моделирование*, **2**, №5, 104 (1990).
5. De Silvestri S., Magni V., Svelto O. *Appl. Opt.*, **28**, 3684 (1989).