

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ СССР

МОСКОВСКИЙ ордена ЛЕНИНА и ордена ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ISSN 0234—9124



ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРИКЛАДНЫЕ
ВОПРОСЫ
ФОТОМЕТРИИ И СВЕТОТЕХНИКИ

Сборник научных трудов

№ 106

Москва

1980

3. Ровинский Р.Е., Разумцева Г.Н. О степени прозрачности разряда в ксеноне при сверхвысоких давлениях // Оптика и спектроскопия. 1959. Т. 7. С. 725-726.

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОСЕВАЯ КАУСТИКА ОПТИЧЕСКОГО РЕЗОНАТОРА

Канд. техн. наук проф. Е.Ф. ИЩЕНКО,
инж. А.В. КАРПИЛЕНКО (Моск. энерг.
ин-т)

В связи с широким применением лазеров в различных приборах и устройствах для фиксации определенного направления в пространстве большое значение приобретает исследование пространственной стабильности оси диаграммы направленности (ОДН) излучения лазеров. Этому вопросу посвящен ряд работ [1-3], в которых изменение положения ОДН рассматривается как следствие определенных возмущений оптических элементов резонатора. Однако наши представления о факторах, влияющих на изменения оптической структуры резонатора после его прогрева, не позволяют детерминировать положение ОДН. Если исключить регулярные факторы, связанные обычно с медленным выходом резонатора на квазистационарный тепловой режим, то оставшаяся часть перемещений ОДН носит зачастую случайный характер. Это обстоятельство подводит к идее использовать методы статистического анализа при рассмотрении стабильности ОДН.

Пусть произвольный резонатор образован рядом оптических элементов. Положение ОДН задается расположением преломляющих и отражающих поверхностей, а также распределением оптической плотности сред. Исходная совокупность этих характеристик обуславливает номинальную структуру резонатора. Пусть случайное возмущение i -го параметра вызывает пропорциональное смещение оси резонаторного пучка в некотором сечении (Z) вне резонатора. Тогда коэффициент пропорциональности можно рассматривать как передаточный коэффициент $C_i(Z)$, определяющий значимость возмущающего фактора. Зададим также дисперсии и статистическую связь различных возмущений матрицей моментов λ_{ij} . При учете всех возмущений для дисперсии

смещения оси в рассматриваемом сечении (Z) можно записать

$$\sigma^2(Z) = \sum_{ij} \lambda_{ij} C_i(Z) C_j(Z), \quad (1)$$

где λ_{ij} - центральные моменты второго порядка различных возмущений ($\lambda_{ij} = \lambda_{ji}$).

Пока разбурствующие возмущения резонатора настолько малы, что ОДН вне резонатора представляет собой прямую линию, зависимость $C_i(Z)$ линейна:

$$C_i(Z) = C_{i0} + C_{i1} Z. \quad (2)$$

Коэффициенты зависимости $C_i(Z)$ определяются геометрией резонатора и в общем случае могут быть вычислены методами матричной оптики [5]. Из (1) и (2) следует, что для дисперсии колебаний оси в некотором сечении (Z) справедливо соотношение

$$\sigma^2(Z) = A + B(Z - Z_0)^2, \quad (3a)$$

$$\text{где } A = \sum_{ij=1}^n \lambda_{ij} C_{i0} C_{j0} - \frac{\left(\sum_{ij=1}^n \lambda_{ij} C_{j0} C_{i1} \right)^2}{\sum_{ij=1}^n \lambda_{ij} C_{i1} C_{j1}}; \quad (3б)$$

$$B = \sum_{ij}^n \lambda_{ij} C_{i1} C_{j1}; \quad (3в)$$

$$Z_0 = - \frac{\sum_{ij=1}^n \lambda_{ij} C_{j0} C_{i1}}{\sum_{ij=1}^n \lambda_{ij} C_{i1} C_{j1}}. \quad (3г)$$

Практический интерес представляет среднее квадратическое отклонение положения ОДН

$$\sigma(Z) = \sqrt{A + B(Z - Z_0)^2}. \quad (4)$$

Выражение (4) описывает гиперболическую образующую поверхности, которую можно назвать статистической осевой каустикой (СОК) собственных волн оптического резонатора. Координате $Z = Z_0$ соответствует такое сечение СОК, где дисперсия и среднее квадратическое отклонение ОДН минимальны, причем величина A определяет минимальную дисперсию, а величина B - наклон асимптоты:

$$\sigma(Z_0) = \sqrt{A},$$

$$\lim_{Z \rightarrow \infty} \left[\frac{\sigma(Z)}{Z} \right] = \sqrt{B}.$$

Из формул (3а)-(3г) видно, что параметры СОК существенно зависят от дисперсий и степени корреляции колебаний различных оптических элементов резонатора λ_{ij} .

На примере двухзеркального резонатора ($n = 2$) с равными дисперсиями угловых колебаний зеркал ($\lambda_{11} = \lambda_{22} = \lambda$) рассмотрим два крайних случая: 1) возмущения зеркал независимы ($\lambda_{12} = \lambda_{21} = 0$); 2) возмущения зеркал полностью коррелированы ($\lambda_{12} = \lambda_{21} = \lambda$). Для коэффициентов зависимости $C_i(Z)$ используем формулы [5]

$$C_{10} = R_1 R_2 (R_1 + R_2 - L)^{-1}; \quad C_{20} = R_2 (R_1 - L) (R_1 + R_2 - L)^{-1};$$

$$C_{11} = R_1 (R_1 + R_2 - L)^{-1}; \quad C_{21} = -R_2 (R_1 + R_2 - L)^{-1}.$$

Тогда для параметров СОК получим в первом случае

$$A_1 = \lambda (R_1^2 + R_2^2) (R_1^2 + R_2^2)^{-1};$$

$$B_1 = \lambda (R_1^2 + R_2^2) (R_1 + R_2 - L)^{-2};$$

$$Z_{01} = R_2 (R_1 R_2 - R_1^2 - R_2 L) (R_1^2 + R_2^2)^{-1},$$

а во втором случае

$$A_2 = 0$$

$$B_2 = \lambda (R_1 - R_2)^2 (R_1 + R_2 - L)^{-2};$$

$$Z_{02} = -R_2 (2R_1 - L) (R_1 - R_2)^{-1},$$

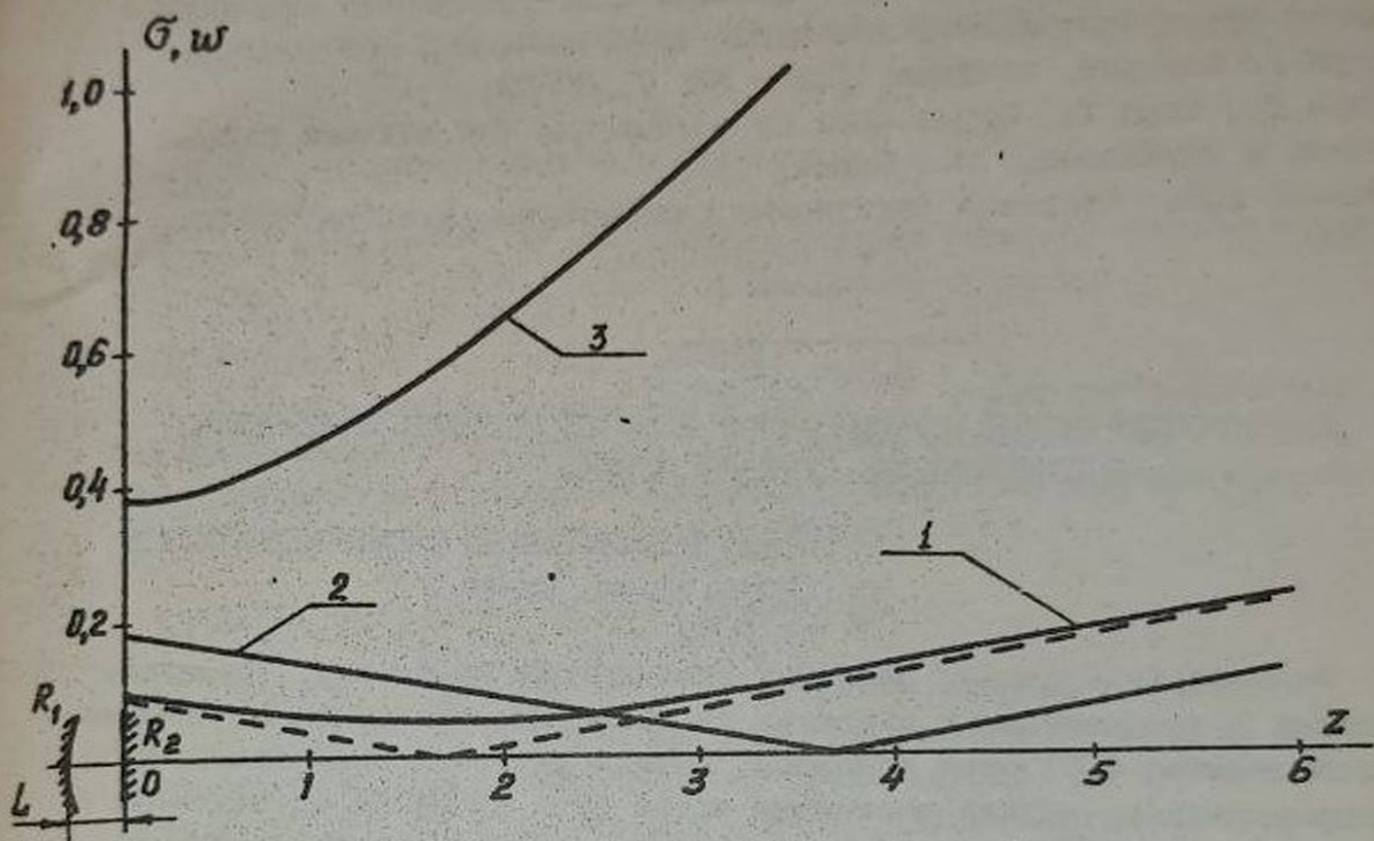
причем

$$G^2(Z) = \lambda R_2^2 (2R_1 - L)^2 (ZZ_0^{-1} - 1)^2 (R_1 + R_2 - L)^{-2}.$$

На рисунке изображены СОК, соответствующие рассмотренным примерам. Здесь "глухое" зеркало имеет радиус кривизны $R_1 = 2\text{м}$, "выходное" зеркало R_2 - плоское, база резонатора $L = 0,3\text{м}$, дисперсии колебаний зеркал $\lambda = 10^{-8} \text{ рад}^2$, что соответствует среднему квадратическому отклонению углового положения зеркал $0,1 \text{ мрад}$.

Для сравнения на этом же рисунке изображена СОК резонаторного пучка (кривая 3), рассчитанная для этого резонатора на длине волны $0,63 \text{ мкм}$ по формулам [5]. Видно, что ни положение, ни радиус "перетяжки", ни расходимость резонаторного пучка, вообще гово-

ря, не совпадают с аналогичными параметрами СОК.



Совершенно ясно, что по известным (например, измеренным) параметрам СОК можно, обратив формулы (3а)-(3г), вычислить дисперсии возмущений зеркал двухзеркального резонатора и степень их корреляции. Это позволит составить более ясное представление о влиянии конструктивных особенностей резонатора на стабильность ОДН.

Таким образом, СОК является адекватной характеристикой нестациональности ОДН собственных волн оптического резонатора и может рассматриваться как самостоятельный объект. Статистический подход к вопросу о стабильности ОДН резонаторного пучка приводит к понятию статистической осевой каустики. Зная СОК, можно оптимизировать выбор рабочего сечения пучка, совмещая его с сечением минимальной дисперсии положения оси. Измерение параметров СОК дает возможность оценить влияние конструктивных особенностей резонатора на стабильность ОДН резонаторного пучка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волоцкий А.А. Оценка пространственных флуктуаций ОДН преобразованного лазерного излучения // Измерит. техника. 1984. №4. С. 22-23.