

## ВНУТРИРЕЗОНАТОРНАЯ ЛАЗЕРНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ ШИРОКИХ ЛИНИЙ ПОГЛОЩЕНИЯ

А.Е. Коренченко, А.Н. Ораевский

*Предложен двухчастотный метод внутриврезонаторной лазерной спектроскопии веществ, ширина линии поглощения которых велика в сравнении с шириной линии активного вещества. Оценена чувствительность метода.*

Одним из высокочувствительных методов обнаружения малых и следовых концентраций газообразных и жидких веществ является метод внутриврезонаторной лазерной спектроскопии (ВРЛС). Он основан на конкуренции мод лазера и позволяет увеличивать эквивалентную длину ячейки  $L_c$  до  $l = L_c c \Delta t / L_T$ , где  $\Delta t$  — продолжительность генерации,  $L_T$  — длина резонатора [1]. Классический вариант метода ВРЛС заключается в регистрации спектра излучения широкополосного лазера, в резонаторе которого имеется вещество с узким спектром поглощения [1, 2]. При этом происходит затухание одной или нескольких мод и в спектре генерации возникает провал, который регистрируется спектрографом высокого разрешения. В случае, когда спектр излучения лазера сравним по ширине или уже спектра поглощения исследуемого вещества, метод ВРЛС в классической форме не применим.

Для веществ, обладающих широким спектром поглощения, можно предложить ВРЛС с использованием конкуренции двух мод, имеющих две разные частоты в пределах ширины линии усиления лазера. При этом выгоднее использование лазеров бегущей волны, чтобы обеспечить лучшую пространственную конкуренцию мод. Затухание одной моды и усиление другой будет происходить тем эффективней, чем больше разность коэффициентов поглощения на этих двух частотах.

Приведем простейшую теоретическую модель конкуренции двух мод. Для этого запишем скоростные уравнения для плотностей фотонов  $W_{1,2}$  в резонаторе в обеих модах, а также для числа активных частиц  $n$ :

$$\begin{aligned} dW_1/dt &= - [1/\tau + \alpha_1 c] W_1 + \sigma_1 n W_1, \\ dW_2/dt &= - [1/\tau + \alpha_2 c] W_2 + \sigma_2 n W_2, \\ dn/dt &= - n/\tau_n + 1 - n [\sigma_1 W_1 + \sigma_2 W_2], \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\alpha_{1,2}$  — коэффициенты поглощения на частотах мод,  $\sigma_{1,2}$  — сечения индуцированного излучения,  $I$  — удельная мощность накачки,  $\tau$  — время жизни фотона в резонаторе,  $\tau_n$  — время спонтанного распада возбужденного состояния. Решая эту систему, можно получить наглядный пример конкуренции двух мод, в одной из которых поглощение больше.

На рис. 1 показаны результаты численного расчета. Видно, что плотность фотонов моды, на частоте которой имеется большее поглощение, затухает, в то время как плотность фотонов другой моды растет. При расчетах полагалось, что в момент времени  $t = 0$  число активных частиц превышает пороговое значение. На опыте это проще всего достичь путем быстрого включения добротности. Периодически включая добротность (Q-модуляция), можно добиться регулярного повторения картины, показанной на рис. 1.

Для оценки чувствительности метода запишем решение системы (1) в квазистационарном приближении  $W_1 = \text{const}$ ,  $n = (1 + \alpha_1 c \tau) / \sigma_1 \tau$ :

$$W_2 = W_0 \exp [-(t/\tau) [1 - \sigma_2/\sigma_1] - (\alpha_2 - \alpha_1) c t]. \quad (2)$$

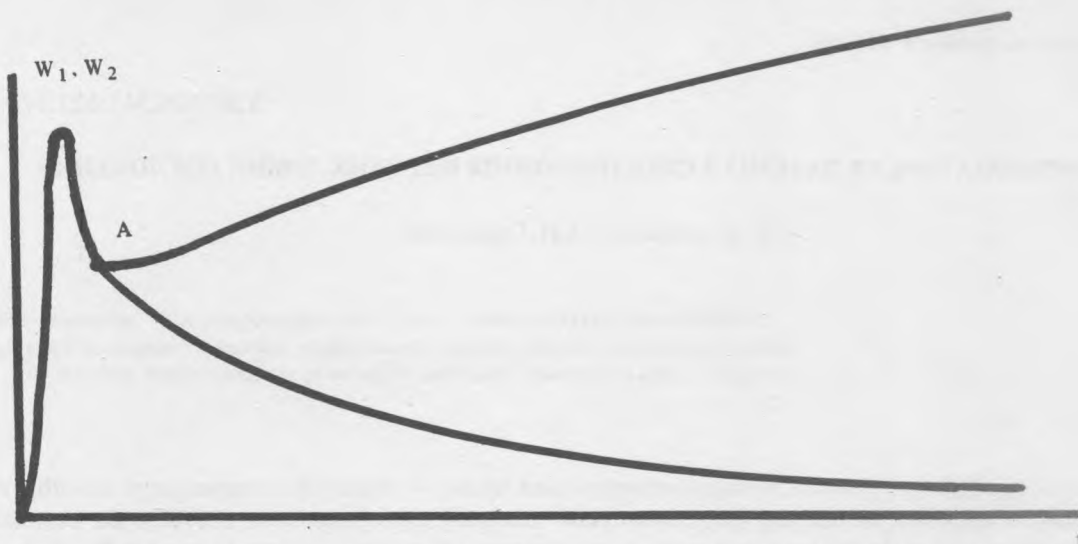


Рис. 1. Зависимости от времени плотностей фотонов двух мод в резонаторе.

Если расположить генерируемые частоты абсолютно симметрично относительно центра линии усиления, тогда  $\sigma_1 = \sigma_2$ , и затухание поля на частоте  $\omega_2$  будет обусловлено лишь разностью коэффициентов поглощения  $\Delta\alpha = \alpha_2 - \alpha_1$ . Таким образом, в рассматриваемом случае роль эффективного коэффициента поглощения играет величина  $\Delta\alpha$ . Ее можно вычислить, предполагая расстояние между модами  $\Delta\omega \ll \Delta\omega_a$  ( $\Delta\omega_a$  — ширина линии поглощения). Для гауссовой формы линии при условии, что центр линии усиления близок к точке перегиба линии поглощения,  $\Delta\alpha \cong 0,86 \alpha_m \Delta\omega / \Delta\omega_a$ , где  $\alpha_m$  — поглощение в центре линии.

В работе [3] достигнута чувствительность метода ВРЛС  $10^{-9} \text{ см}^{-1}$ . Значит, поглощение в широкой линии можно определить с точностью  $\cong 10^{-9} \Delta\omega_a / \Delta\omega_h$ , где  $\Delta\omega_h$  — однородная ширина линии усиления. Для достижения такой чувствительности необходимо обеспечить высокую точность настройки рабочих мод, чтобы величина  $1 - \sigma_2 / \sigma_1$  не превышала  $10^{-5}$ .

Предельная чувствительность метода определяется, как и в классическом случае, спонтанным излучением. Реализация предельной чувствительности зависит от того, насколько удастся в эксперименте добиться баланса сечений  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$ , добротностей резонатора на разных частотах, а также устранения отраженных волн, которые будут уменьшать конкуренцию мод.

Интересно решение системы (1) в случае, когда лазер снабжен системой автоматической подстройки параметров разряда, стабилизирующей выходную мощность. При этом условии систему (1) можно решить аналитически. В качестве начальной точки по времени можно выбрать точку А на рис. 1, в которой спектральные плотности рабочих мод одинаковы. Полагая, что  $\sigma_1 = \sigma_2$ , находим  $W_{1,2} = W / [1 + \exp(\mp (a_2 - a_1) ct)]$ . Исходя из этой формулы, можно определять  $\Delta a = a_2 - a_1$ , наблюдая за затуханием или усилением соответствующей моды.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сучков А.Ф. Препринт ФИАН № 126, М., 1970.
2. Баев В.М. и др. ЖЭТФ, 74, 43 (1978).
3. Баев В.М. и др. Тезисы III Межд. конф. "Лазеры и их применения", Дрезден, 1977, с. 467.

Поступила в редакцию 17 июля 1990 г.