

**ДВУХРЕЗОНАТОРНЫЙ МОЛЕКУЛЯРНЫЙ ГЕНЕРАТОР, КАК
СПЕКТРОСКОП ВЫСОКОЙ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СИЛЫ**

**Н.Г.Басов, А.Н.Ораевский, Г.М.Страховский,
А.В.Успенский**

Принято считать, что разрешающая сила спектрографа ограничена шириной спектральной линии. В работе Фельда и др. [1] показано, что возможно разрешение спектральных компонент внутри доплеровской (неоднородно уширенной) линии, так что предел разрешения определяется однородным уширением. Как показано ниже, в квантовом генераторе возможно разрешение спектральных компонент в пределах однородно уширенной линии так, что, по-видимому, предел разрешения такого спектрографа определяется шириной, связанной с монохроматичностью и стабильностью источника излучения.

Для разрешения компонент внутри однородно уширенной спектральной линии удобно использовать молекулярный генератор с двумя последовательными резонаторами.

Идея спектроскопа состоит в следующем. Как известно, пучок активных молекул, проходя через первый резонатор, поляризуется там под действием монохроматического сигнала. Поляризованный пучок, попадая во второй резонатор, вызывает там появление "молекулярного звона" (когерентного спонтанного излучения), по своей частоте совпадающего с частотой сигнала в первом резонаторе. Фаза сигнала во втором резонаторе зависит от расстройки частоты сигнала от вершины (центра тяжести) спектральной линии и расстояния между резонаторами [2]. При модуляции этого расстояния фаза сигнала во втором резонаторе тоже модулируется, однако если частота сигнала в точности совпадает с вершиной линии, то модуляция расстояния между резонаторами не приводит к модуляции фазы.

С другой стороны, из-за эффекта насыщения положение вершины линии меняется в зависимости от величины сигнала в первом резонаторе. Измеряя частоту генерации, при которой фаза во втором резонаторе не зависит от модуляции расстояния между резонаторами при разных величинах сигнала в первом резонаторе, можно получить столько независимых соотношений, сколько компонент сверхтонкой структуры содержится в линии. Совместное решение этих соотношений дает возможность определить положение компонент сверхтонкой структуры.

Расчет был проведен для наглядности в случае двух спектральных компонент в линии, хотя его легко обобщить на случай произвольного числа компонент. Для вычисления амплитуды и фазы использованы формулы [3] для молекулярного генератора с двумя последовательными резонаторами. Расчет проведен в случае $\Delta\omega_j(L + l_2)/v_1 \ll 1/\epsilon_1$, где $\Delta\omega_j$ ($j = 1, 2$) - разность между частотой j -й спектральной компоненты и частотой сигнала, L - расстояние между резонаторами, l_2 - длина второго резонатора, v_1 - время пролета первого резонатора. Для компонент, лежащих в пределах ширины спектральной линии, это условие всегда легко выполнить.

При малом насыщении в первом резонаторе получим три точки, в которых фаза во втором резонаторе не меняется при модуляции расстоя-

ния между резонаторами. Эти точки определяются следующими соотношениями:

$$|\mu_1|^2 N_1 \Delta\omega_1 + |\mu_2|^2 N_2 \Delta\omega_2 = 0,$$

$$|\mu_1|^2 N_1 \Delta\omega_1 \left[\frac{3\ell_2 + 6L}{\ell_1} - 6 \right] + 6 |\mu_2|^2 N_2 \Delta\omega_2 = 0, \quad (I)$$

$$6 |\mu_1|^2 N_1 \Delta\omega_1 + \left[\frac{3\ell_2 + 6L}{\ell_1} - 6 \right] |\mu_2|^2 N_2 \Delta\omega_2 = 0,$$

где μ_1 и N_1 - дипольный момент и число частиц во втором резонаторе, соответствующие первой спектральной компоненте, μ_2 , N_2 - то же для второй спектральной компоненты, ℓ_1 - длина первого резонатора.

Совместное решение (I) позволяет найти ω_1 , ω_2 и $|\mu_1|^2 N_1 / |\mu_2|^2 N_2$ (если N_1 и N_2 постоянны). Ошибка измерения частоты ($\delta\omega$) определяется, во-первых, ошибкой измерения разности фаз между первым и вторым резонаторами и связана с техническими уходами частоты первого резонатора. При синхронном детектировании

$$\delta\omega = \frac{8 \bar{v}}{\Delta L \left| \frac{3\ell_2 + 6L}{\ell_1} \right|} \left(T + \frac{\tau_1}{2} + \frac{\tau_2}{2} \right) \sqrt{\bar{\chi}^2} \sqrt{\frac{2\beta}{\theta(\Omega^2 + \beta^2)}}. \quad (2)$$

Здесь \bar{v} - средняя скорость пучка $T = L/\bar{v}$, $\tau_2 = \ell_2/\bar{v}$, ΔL - амплитуда, а Ω - частота модуляции расстояния между резонаторами, $\bar{\chi}^2$ - средний квадрат флуктуаций частоты первого резонатора, θ - время детектирования, а β - обратное время корреляции, если рассматривать технические ухода $\dot{\chi}$ как нормальный случайный процесс. Подстановка в (2) $L = \ell_1 = \ell_2 = 10$ см, $\Delta L = 0,1$ см, $\beta = \Omega = 10$ гц, $\bar{v} = 6 \cdot 10$ см/сек, $\theta = 1$ сек, $\sqrt{\bar{\chi}^2} = 1$ гц дает $\delta\omega \sim 20$, т.е. возможно разрешать спектральные компоненты, лежащие на расстоянии

нескольких герц. Необходимо отметить, что есть еще ошибка, связанная с точностью расчета, однако она не принципиальная, так как точность расчетов можно всегда увеличить.

Физический институт

им. П.Н.Лебедева
Академии наук СССР

Поступило в редакцию

9 апреля 1966 г.

Литература

- [1] M.S.Feld, J.H.Parks, H.R.Schlossberg, A.Javan. Physics of Quantum Electronics, 1966, стр.567.
- [2] В.Г.Веселаго, А.Н.Ораевский, Г.М.Страховский, В.М.Татаренков, Письма ЖЭТФ, 2, 77, 1965.
- [3] А.Н.Ораевский. Молекулярные генераторы, Изд. "Наука", М., 1964.