

РЕГИСТРАЦИЯ СЛАБЫХ ЛИНИЙ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ С ПОМОЩЬЮ ОКГ С НЕОДНОРОДНО УШИРЕННОЙ ПОЛОСОЙ УСИЛЕНИЯ

А. Ф. Сучков

1) Из теории вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР) известно /1/, что на частоте стоксовой линии КР ω_c , возбуждаемой монохроматическим излучением с частотой ω_0 , существует усиление, пропорциональное интенсивности возбуждающего излучения

$$\alpha = \frac{3\lambda^3}{2\pi^2} \cdot \frac{NQ_0}{\hbar\Delta\omega_c} |e_0|^2. \quad (1)$$

Здесь λ - длины волны КР, Q_0 - сечение КР на одну молекулу, N - концентрация рассеивающих частиц, $\Delta\omega_c$ - ширина линии КР, $|e_0|^2$ - квадрат напряженности поля на частоте возбуждения ω_0 . Усиление на частоте линии КР использовано в работе /2/ для возбуждения слабых линий ВКР. В работе /2/ инициирование ВКР, которое в обычных условиях производится спонтанным КР, осуществлялось с помощью интенсивного внешнего континуума излучения. Таким образом оказалось возможным обнаружить ряд новых линий ВКР, не наблюдавшихся ранее.

В настоящей работе показано, что использование усиления на частоте КР для воздействия на спектр генерации ОКГ с неоднородно уширенной полосой усиления позволяет резко повысить чувствительность спектрального анализа по линиям КР по сравнению с известными методами. Предлагаемый метод основан на высокой чувствительности спектра генерации ОКГ с

неоднородно уширенной полосой усиления к частотно-зависимым потерям в резонаторе /3/.

2. Чувствительность спектра генерации ОКГ с неоднородно уширенной полосой усиления к частотнозависимым потерям в резонаторе найдем из уравнений баланса в предположении, что неоднородная ширина равна бесконечности, и миграция возбуждений по спектру отсутствует

$$\frac{dn(\omega)}{dt} = \beta n(\omega) \int_{-\infty}^{\infty} N(\omega', t) g(\omega', \omega) d\omega' - \frac{n(\omega)}{T(\omega)} + S, \quad (2)$$

$$\frac{dN(\omega)}{dt} = P - \frac{N(\omega)}{\tau} - N(\omega) \sigma \int_{-\infty}^{\infty} n(\omega') g(\omega', \omega) d\omega'.$$

Здесь $n(\omega)$ и $T(\omega)$ - спектральная плотность фотонов в резонаторе и их время жизни, $N(\omega), \tau$ - спектральная плотность активных частиц и их время жизни по отношению к спонтанному распаду, S - разделенная на энергию кванта спектральная мощность спонтанного излучения в генерирующие типы колебаний, β - вероятность индуцированного излучения, P - скорость накачки активных частиц на верхний рабочий уровень, $g(\omega', \omega)$ - контур линии однородного уширения. Полагая, что $g(\omega', \omega)$ имеет дисперсионный контур с шириной γ , и $1/T(\omega)$ имеет вид

$$\frac{1}{T(\omega)} = \frac{1}{T_0} - \Delta \left(\frac{1}{T} \right) \cos \frac{2\pi\omega}{\Delta\omega}, \quad (3)$$

из системы уравнений (2) в стационарном режиме при $\Delta n(\omega) \ll n_0$ получим устойчивое решение (подробнее см. /3/)

$$\frac{\Delta(1/T)}{1/T_0} = \frac{\Delta n}{n_0} \left[\frac{ST_0}{n_0} + \frac{n_0}{PT_0} \exp\left(-\frac{2\pi\gamma}{\Delta\omega}\right) \right], \quad \Delta n(\omega) = \Delta n \cos \frac{2\pi\omega}{\Delta\omega}, \quad (4)$$

где n_0 есть стационарное решение (2) при $\Delta(1/T) = 0$. В выражении (4) ST_0/n_0 есть отношение мощностей спонтанного шума и генерации $n_0/PT_0 = (k_{np} - 1)$, где k_{np} - превышение мощности накачки над порогом. При малых $\Delta\omega$, когда $\frac{n_0}{PT_0} \exp\left(-\frac{2\pi\gamma}{\Delta\omega}\right) \ll \frac{ST_0}{n_0}$, вторым слагаемым в

(4) можно пренебречь. Таким образом, при малых $\Delta\omega$ чувствительность спектра генерации к частотно-зависимым потерям в резонаторе определяется отношением мощности спонтанного шума к мощности генерации.

3) Наличие в резонаторе дополнительного усиления на частоте ω_c эквивалентно изменению потерь в резонаторе на величину

$$\frac{\Delta(1/T)}{1/T_0} = \frac{\alpha l}{\beta}. \quad (5)$$

Здесь α определяется выражением (1), l - длина рассеивающего образца, β - усиление в ОКГ на один проход в стационарном режиме генерации. Полагая, что ширина линии усиления $\gamma_{л} \ll \gamma$, и пренебрегая в (4) вторым слагаемым $(n_0/PT_0)\exp(-2\pi\gamma/\Delta\omega) = (n_0/PT_0)\exp(-2\pi\gamma/\gamma_{л})$, из (4) и (5) имеем окончательно

$$\frac{\Delta n(\omega_c)}{n_0} = \frac{\alpha l n_0}{\beta ST_0}. \quad (6)$$

В отличие от метода, использованного в /2/, предлагаемым методом могут быть обнаружены и антистоксовы линии КР, для которых на частоте ω_a существует поглощение. Высокая чувствительность спектра генерации к линиям поглощения нашла экспериментальное подтверждение в работе /4/.

В заключение приведем численный пример. Будем считать, что линия обнаруживается при $\Delta n/n \approx 0,1$, и примем $\beta = 0,05$, $\frac{\gamma T_0}{n_0} = 10^{-5}$, $\gamma_{л} = 2 \text{ см}^{-1}$, $\lambda = 1,06 \cdot 10^{-4} \text{ см}$, $Q_0 = 10^{-29} \text{ см}^2$, $l = 10 \text{ см}$, $|e_0|^2 = 10^4 \text{ СГСЭ}$.

Обнаруживаемая при таких параметрах концентрация рассеивающего вещества $N \approx 5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$. При малых давлениях в газах можно ожидать, что будет разрешена тонкая структура линий КР, обусловленная взаимодействием колебаний и вращений молекул /5/. В этом случае ширина каждой компоненты будет определяться доплеровским уширением $\delta_{\text{Д}} \sim 10^{-2} \text{ см}^{-1}$, и обнаруживаемая концентрация в приведенном выше численном примере $N \approx 3 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$.

Поступила в редакцию
5 октября 1971 г.

Л и т е р а т у р а

1. В. Н. Луговой. Введение в теорию ВКР. Издательство "Наука", Москва, 1968 г.
2. Я. С. Бобович, А. В. Борткевич. Опт. и сп., 24, 456 (1968).
3. А. Ф. Сучков. Линейчатая структура спектров генерации ОКГ с неоднородно уширенной линией усиления. Препринт ФИАН, № 126. Москва, 1970 г.
4. Л. А. Пахомычева, Э. А. Свириденков, А. Ф. Сучков, Л. В. Титова, С. С. Чурилов. Письма в ЖЭТФ, 12, 60 (1970).
5. И. И. Собельман. Изв. АН СССР, сер. физ., 17, 594 (1953).