

УДК 621.373.7

## СПЕКТР ГЕНЕРАЦИИ ПРИ КОГЕРЕНТНОМ РАМАНОВСКОМ СМЕШЕНИИ

С. Ю. Никитин

(кафедра общей физики и волновых процессов)

1. При генерации ИК-излучения методом когерентного рамановского смещения (КРС) — как для спектроскопических целей [1], так и для лазерного разделения изотопов [2] — принципиальным является вопрос о спектре ИК-излучения. Экспериментальные данные [1, 2] показывают, что при КРС в водороде спектр ИК-компоненты определяется спектром пробной волны. В настоящей заметке теоретически обоснован этот результат, а также получено общее выражение для ширины линии генерации.

2. Генерация ИК-излучения при КРС происходит за счет рассеяния пробной световой волны на молекулярных колебаниях, возбуждаемых при ВКР накачки. Рассмотрим простейшую модель процесса, учитывающую взаимодействие накачки, стоксовой компоненты ВКР, пробной волны и ИК-излучения, частоты которых связаны соотношением  $\omega_n - \omega_c = \omega_p - \omega_{ик}$ . В приближении заданного поля пробной волны уравнение для амплитуды ИК-компоненты имеет вид

$$\frac{\partial A_{ик}}{\partial z} = \frac{1}{2} g_{ик} A_n(\theta) Q e^{i\Delta z}, \quad (1)$$

где  $A_n$  — амплитуда пробной волны,  $Q = Q(z, \theta)$  — амплитуда молекулярных колебаний, возбуждаемых при ВКР накачки,  $g_{ик} = g\omega_{ик}/\omega_c$ ,  $g$  — постоянная усиления при ВКР,  $\Delta = (k_n - k_c) - (k_p - k_{ик})$  — волновая расстройка,  $\theta = t - z/u$ ,  $z$  — координата,  $t$  — время,  $u$  — групповая скорость. При выводе (1) считалось, что интенсивность пробной волны много меньше интенсивности накачки и групповые скорости всех волн одинаковы. Последнее справедливо, в частности, для газообразных сред.

3. Используя преобразование Фурье  $F(t) = \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) e^{i\omega t} d\omega$  и уравнение (1), можно получить следующее выражение для спектра ИК-излучения:

$$A_{ик}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} A_n(\omega - \omega') q(\omega') d\omega', \quad (2)$$

где  $A_n(\omega)$  — спектр пробной волны,

$$q(\omega) = \frac{1}{2} g_{ик} \int_0^z Q(z', \omega) e^{i\Delta z'} dz' \quad (3)$$

спектр молекулярных колебаний. Из формулы (2) следует, что если пробная волна и молекулярные колебания имеют гауссовские спектры с ширинами  $\Delta\omega_n$  и  $\Delta\omega_q$  соответственно, то спектр ИК-излучения также будет гауссовским с шириной

$$\Delta\omega_{ик} = \sqrt{\Delta\omega_n^2 + \Delta\omega_q^2}. \quad (4)$$

4. Допустим, что ширина спектра накачки удовлетворяет условию

$$\Delta\omega_{\text{н}}L \ll 1, \quad (5)$$

где  $\mu = u_{\text{н}}^{-1} - u_{\text{с}}^{-1}$  — расстройка групповых скоростей накачки и стоксовой компоненты,  $L$  — длина взаимодействия. Условие (5) выполняется, например, при ВКР вперед в газах. Тогда приближенно можно считать [3—5], что волна молекулярных колебаний имеет спектр

$$Q(z, \omega) \propto \frac{\exp[\Gamma z/2(1 + i\omega T_2)]}{1 + i\omega T_2} \quad (6)$$

с шириной ( $\Gamma z \gg 1$ )

$$\Delta\omega_q = \Delta\omega_0/\sqrt{\Gamma z}, \quad (7)$$

как и в случае монохроматической накачки. В формулах (6) и (7)  $\Gamma = g\bar{I}_{\text{н}}$  — инкремент ВКР,  $T_2$  — время релаксации,  $\bar{I}_{\text{н}}$  — средняя интенсивность накачки,  $\Delta\omega_0 = 2/T_2$  — ширина линии спонтанного рассеяния. Исходя из (3) и (6) нетрудно показать, что ширина спектра  $q(\omega)$  также определяется формулой (7). Поскольку формула (7) получена в приближении заданного поля накачки [3—5], следует полагать  $\Gamma z = 20 \div 30$ . Таким образом, получаем следующую оценку ширины линии колебаний, справедливую при условии (5):

$$\Delta\omega_q \approx \Delta\omega_0/5. \quad (8)$$

В работе [6] показано, что эта оценка остается в силе и при насыщении ВКР.

5. Оценим факторы, влияющие на спектр генерации, для условий экспериментов [1, 2]. Используя данные о спектрах  $\Delta\nu_{\text{н}} = 0,3 \text{ см}^{-1}$  [1],  $\Delta\nu_{\text{н}} = 0,05 \text{ см}^{-1}$  [2] ( $\nu = \omega/2\pi c$ ) и дисперсии водорода [1], получим, что  $\Delta\omega_{\text{н}}L = 2 \cdot 10^{-3}$  в условиях [1] и  $2 \cdot 10^{-5}$  в условиях [2]. Следовательно, изменение спектра накачки в широких пределах не должно влиять на спектр ИК-излучения. По данным работ [7, 8], ширина линии спонтанного рассеяния для условий [1, 2] составляет  $\Delta\nu_0 = 0,02 \div 0,04 \text{ см}^{-1}$ . Следовательно, в обоих случаях  $\Delta\nu_q \approx 0,01 \text{ см}^{-1}$ . Сравнивая эту величину с шириной спектра пробного излучения  $\Delta\nu_{\text{п}} = 5 \text{ см}^{-1}$  [1] и  $0,05 \text{ см}^{-1}$  [2], можно сделать вывод, что в обоих экспериментах

$$\Delta\nu_{\text{ИК}} \approx \Delta\nu_{\text{п}}, \quad (9)$$

что и подтверждается результатами наблюдений [1, 2]. Отметим в заключение, что в экспериментах по КРС доступно прямое наблюдение спектра молекулярных колебаний, возбуждаемых при ВКР. Для этого ширина линии пробного излучения должна удовлетворять условию  $\Delta\omega_{\text{п}} \ll \Delta\omega_q$ .

Автор благодарен Ю. Е. Дьякову за полезное обсуждение результатов работы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Brosnan S. J., Fleming R. N. et al. Appl. Phys. Lett., 1977, 30, N 7, p. 330. [2] Loy M. M. T., Sorokin P. P., Lankard J. R. Appl. Phys. Lett., 1977, 30, N 8, p. 415. [3] Ахманов С. А., Дьяков Ю. Е., Павлов Л. И. ЖЭТФ, 1974, 66, № 2, с. 520. [4] Ахманов С. А. В кн.: Нелинейная спектроскопия.— Под ред. Н. Бломбергера. М.: Мир, 1979, с. 347. [5] Ахманов С. А., Дьяков Ю. Е., Чиркин А. С. Введение в статистическую радиофизику и оптику. М.: Наука, 1981, с. 580—606. [6] Дьяков Ю. Е. Письма в ЖЭТФ, 1969, 10, № 11, с. 545. [7] Hagenlocker E. E., Mink R. W., Rado W. G. Phys. Rev., 1967, 154, N 2, p. 226. [8] Trutna W. R., Park Y. K., Byer R. L. IEEE J. of Quant. Electron., 1979, QE-15, N 7, p. 648.