

О ФОРМЕ СПЕКТРАЛЬНОЙ ЛИНИИ В ПУЧКЕ МОЛЕКУЛ

А. Ф. Крупнов, В. А. Скворцов

В последнее время в области радиоспектроскопии и пучковых мазеров все большее распространение получают резонаторы типа Фабри—Перо и резонаторы на высшие типы колебаний [1-5]. Для таких резонаторов характерным является существенно неоднородное вдоль траекторий молекул поле СВЧ. Поляризация молекулярного пучка в таком поле рассматривалась в [6-8]. В данной работе находится форма спектральной линии при взаимодействии пучка молекул с полем произвольной конфигурации. Напряженность поля достаточно мала, так что эффектом насыщения можно пренебречь.

Рассмотрим случай пролета молекулой резонатора, настроенного на частоту перехода молекулы ω_{12} , с полосой много шире спектральной линии. В резонатор подается сигнал с частотой ω_c . Форма спектральной линии определяется зависимостью вероятности перехода P_{12} от частоты сигнала ω_c [9].

Вероятность перехода молекулы с верхнего энергетического уровня на нижний* за время пролета области поля СВЧ $E(t)$ определяется выражением [10]

$$P_{12} = \frac{1}{\hbar^2} \left| \int_{-\infty}^{+\infty} V_{21} e^{-i\omega_{12}t} dt \right|^2.$$

Для перехода с матричным элементом дипольного момента μ_{21} в случае линейной поляризации $E(t)$ матричный элемент возмущения равен $V_{21} = \mu_{21}E(t)$. Тогда

$$P_{12} = \frac{\mu_{21}^2}{\hbar^2} \left| \int_{-\infty}^{+\infty} E(t) e^{-i\omega_{12}t} dt \right|^2 = \frac{\mu_{21}^2}{\hbar^2} F(\omega_{12}), \quad (1)$$

где $F(\omega_{12})$ — значение квадрата модуля спектра поля $E(t)$ на частоте, равной частоте перехода молекулы ω_{12} . Благодаря движению молекулы вдоль пространственного распределения поля возмущение имеет вид модулированного импульса СВЧ, длительность которого равна времени пролета τ . Спектр этого импульса обычно представляется в виде $F(\omega, \omega_c)$, где ω — текущая частота. Из выражения (1) следует, что если в $F(\omega, \omega_c)$ положить $\omega = \omega_{12}$, то выражение $F(\omega_{12}, \omega_c)$ дает форму спектральной линии. Таким образом, нахождение формы спектральной линии в резонаторе для малого сигнала сводится просто к разложению в спектр импульса поля СВЧ, действующего на молекулу при пролете через резонатор.

С другой стороны, по форме спектральной линии можно получить представление о распределении поля СВЧ в резонаторе.

Для случая синусоидального распределения поля СВЧ вдоль траектории молекулы возмущение имеет вид $E(t) = E_0 \sin(\Omega t) \cos(\omega_c t)$, где Ω — частота изменения амплитуды поля при пролете молекулы вдоль пространственного распределения поля $E(z)$, $z = vt$, v — скорость молекулы. Форма спектральной линии будет описываться (в зависимости от числа вариаций поля, укладывающихся в резонатор $n = (\Omega/\pi)\tau$, τ — время пролета молекулы через резонатор) одной из следующих формул:

* Мы рассматриваем молекулу с двумя энергетическими уровнями.

$$F(\omega_{12}, \omega_c) = \frac{\Omega^2 E_0^2}{[\Omega^2 - (\omega_{12} - \omega_c)^2]^2} \begin{cases} \cos^2 \left(\frac{\pi}{2} n \frac{\omega_{12} - \omega_c}{\Omega} \right) & (n \text{ — нечетное}) \\ \sin^2 \left(\frac{\pi}{2} n \frac{\omega_{12} - \omega_c}{\Omega} \right) & (n \text{ — четное}) \end{cases}$$

Таким образом, при $n > 1$ линия расщепляется.

Такая картина расщепления линии излучения $1_{01} - 0_{00}$ молекулы формальдегида наблюдалась нами для $n = 2$ в пучковом молекулярном генераторе с резонатором типа Фабри—Перо [1]. Обнаруженная в [2] бигармоническая генерация может быть также объяснена генерацией на двух компонентах расщепленной линии.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. М. Прохоров, ЖЭТФ, **34**, 1658 (1958).
2. D. Marcuse, J. Appl. Phys., **32**, 743 (1961).
3. А. И. Барчуков, А. М. Прохоров, В. В. Савранский, Радиотехника и электроника, **8**, 438 (1963).
4. D. Marcuse, Proc. IRE, **49**, 1706 (1961).
5. А. Ф. Крупнов, В. А. Скворцов, ЖЭТФ, **45**, 2080 (1963).
6. Г. П. Любимов, Р. В. Хохлов, ЖЭТФ, **33**, 1396 (1957).
7. J. Vonapoti, Helv. Phys. Acta, **31**, 282 (1958).
8. В. Б. Цареградский, Изв. высш. уч. зав.—Радиофизика, **6**, 275 (1963).
9. Н. Рамзей, Молекулярные пучки, ИЛ, М., 1960.
10. Л. Ландау, Е. Лифшиц, Квантовая механика, часть 1, ГИТТЛ, М., 1948.
11. А. Ф. Крупнов, В. А. Скворцов, ЖЭТФ (в печати).
12. А. И. Барчуков, А. М. Прохоров, Н. Н. Савранский, Радиотехника и электроника, **8**, 1641 (1963).

Научно-исследовательский радиофизический институт
при Горьковском университете

Поступила в редакцию
4 января 1964 г.