

ПРЕЦИЗИОННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ИНФРАКРАСНОГО ЗЕЕМАНОВСКОГО СПЕКТРА МЕТАНА С ПОМОЩЬЮ КОЛЬЦЕВОГО ЛАЗЕРА

*М. В. Данилейко, В. Р. Козубовский, А. П. Недавний,
М. Т. Шпак*

С помощью "конкурентных" [1] резонансов мощности кольцевого лазера измерено зеемановское расщепление линии $2947,912 \text{ см}^{-1}$ поглощения метана компоненты $F_1^{(2)}$ ветви $P(7)$ группы ν_3 с разрешением $3 \cdot 10^{-6} \text{ см}^{-1}$.

1. Введение нелинейно-поглощающей среды в резонатор кольцевого лазера приводит к резкой смене режимов генерации бегущей и стоящей волн в узкой частотной области на центре линии поглощения ω_- , в результате которой зависимость мощности лазера от частоты содержит высококонтрастные и чрезвычайно узкие "конкурентные" резонансы [1].

В настоящей работе сообщается о первых успешных экспериментах по использованию "конкурентных" резонансов для высокоточного измерения зеемановского расщепления линии $2947,912 \text{ см}^{-1}$ поглощения метана компоненты $F_1^{(2)}$ ветви $P(7)$ группы ν_3 с разрешением $\sim 3 \cdot 10^{-6} \text{ см}^{-1}$. Впервые удалось осуществить спектроскопию сверхвысокого разрешения поглощающей среды, основанную на эффектах конкуренции волн. Преимущества предложенного метода спектроскопии состоят в следующем: а) не требуется чувствительной регистрирующей аппаратуры, поскольку эффект конкуренции волн позволяет превратить инвертированные лэмбовские провалы малой амплитуды в высококонтрастные "конкурентные" резонансы; б) точность спектральных измерений увеличивается на несколько порядков, поскольку ширина "конкурентных" резонансов может быть ничтожно малой.

2. Экспериментальная установка состояла из трехзеркального кольцевого лазера ($\lambda = 3,39 \text{ мкм}$), в резонаторе которого кроме газоразрядной трубки находилась метановая поглощающая ячейка, помещенная в соленоид. Соленоид обеспечивал постоянное магнитное поле напряженностью до $1,4 \text{ кэ}$ на участке длиной 1 м . Диаметр газоразрядной трубки 15 мм , метановой ячейки — 40 мм . Длина активной и пассивной ячеек составляла 1 м . При таких параметрах системы однородная ширина линии поглощения (давление метана $P_{\text{CH}_4} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ тор}$) составляла 90 кГц . Включение магнитного поля напряженностью 500 э приводит к расщеплению линии метана на две σ -компоненты, расстояние между которыми $\delta = 2g \mu_{\text{Я}} (H/\hbar)$, где $\mu_{\text{Я}}$ — ядерный магнетон, H — напряженность магнитного поля. Величина расщеплений при $H = 500 \text{ э}$ составляет 230 кГц . Поскольку из-за эффекта пересечения уровней [2] наблюдается резонанс и на центральной частоте, расстояние между спектральными компонентами составило 115 кГц . На рис. 1, а. приведена осциллограмма выходной мощности кольцевого лазера при сканировании его длины: 1 — метановый конкурентный резонанс, контрастность которого близка к 100%. Форма резонанса 1 при малых амплитудах сканирования изображена на рис. 1, б. Его полуширина Δ составляет 30 кГц , что зна-

чительно меньше однородной ширины. При включении магнитного поля метановый пик расщепляется на три компонента (рис. 1, *в*). Два боковых резонанса соответствуют σ^+ и σ^- зеемановским компонентам линии, центральный резонанс обусловлен "crossing" эффектом [2]. Измерив с точностью $\pm 10^{-2}$ Å расстояние между боковыми резонансами, а тем самым величину зеемановского расщепления линии метана, можно гораздо точнее и значительно проще (по сравнению с методикой эксперимента в [3]) определить значения g -фактора. В результате имеем $g = 0,312 \pm 0,003$, что находится в согласии с предыдущими работами [3, 4].



Рис. 1. Осциллограммы выходной мощности одной из волн кольцевого лазера $P_{\text{He-Ne}22} = 2,2 \text{ мВт}$; $P_{\text{CH}_4} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ мВт}$: *а* — общий вид зоны сканирования; *б* — метановый "конкурентный" резонанс; *в* — форма метанового пика при малой амплитуде сканирования. Расстояние между метками 50 кГц; *г* — расщепление "конкурентного" резонанса в магнитном поле $H = 500 \text{ э}$. Расстояние между метками 100 кГц

3. Возможность спектроскопии поглощающей среды с помощью "конкурентных" резонансов непосредственно следует из анализа уравнений для изменения со временем амплитуд $E_{1,2}$ бегущих волн кольцевого лазера при наличии в линии поглощения N спектральных компонент:

$$\begin{aligned}
 \dot{E}_{1,2} = -\kappa_+ E_{1,2} \left\{ \eta_{1,2} - a_+ \left[\left(a_+ - \sum_i^N \mu^{(i)} a_{-}^{(i)} \right) E_{1,2}^2 - \left(\beta_+ - \sum_i^N \mu^{(i)} \beta_{-}^{(i)} \right) \times \right. \right. \\
 \left. \left. \times E_{2,1}^2 \right] \right\}; \quad (1)
 \end{aligned}$$

здесь $\kappa_{+(-)}$ — линейные коэффициенты усиления (поглощения), $\eta_{1,2}$ — превышение накачки над порогом, $\mu^{(i)} = a_{-}^{(i)} \kappa_{-}^{(i)} / a_{+} \kappa_{+}$, $a_{+(-)}$ — параметр насыщения, $\alpha_{+(-)}$ и $\beta_{+(-)}$ — коэффициенты насыщения усиливающей и поглощающей сред собственным полем и полем встречной волны [5]. Стационарное решение уравнения (1), описывающее генерацию стоячей волны ($E_1 = E_2 \neq 0$), существует при условии

$$f(\omega) = \{ (a_{+} - \beta_{+}) - \sum_i \mu^{(i)} (a_{-}^{(i)} - \beta_{-}^{(i)}) \} > 0. \quad (2)$$

Анализ показывает, что $f(\omega)$ максимальна на центральных частотах $\omega_{-}^{(i)}$ компонент линии поглощения. Если $f(\omega_{-}^{(i)}) > 0$, то на частотах $\omega_{-}^{(i)}$ будут раздельно наблюдаться "конкурентные" резонансы, связанные с переходом генерации из одно- в двухволновый режим при условии

$$\delta^{(i)} > \gamma_{-}, \quad (3)$$

где $\delta^{(i)}$ — расстояние между спектральными компонентами, γ_{-} — однородная ширина линии поглощения. Вид функции $f(\omega)$ при наличии двух спектральных компонент в линии поглощения приведен на рис. 2. Здесь же изображена теоретическая зависимость мощности $P_o(\omega)$ одной из бегущих волн кольцевого лазера при сканировании частоты с возникающими на частоте $\omega = \omega_{-}^{(i)}$ "конкурентными" резонансами.

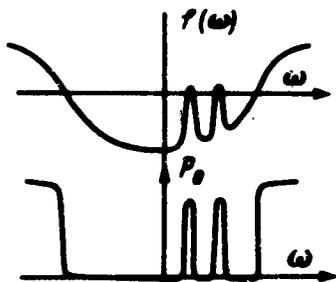


Рис. 2. Образование "конкурентных" резонансов мощности кольцевого лазера при наличии двух спектральных компонент в линии поглощения

Авторы выражают благодарность Э.М.Беленову за полезные обсуждения.

Институт физики
Академии наук Украинской ССР

Поступила в редакцию
31 июля 1975 г.

Литература

- [1] Н.Г.Басов; Э.М.Беленов, В.М.Данилейко, В.В.Никитин. ЖЭТФ, 57, 1991, 1969; 60, 117, 1971.
- [2] H. R. Schlossberg, A. Javan. Phys. Rev., 150, 267, 1966.
- [3] Uzgiris, J.L.Hall, R.L.Barger. Phys. Rev. Lett., 26, 292, 1971.

[4] С.Н.Андерсон, Н.Ф.Рамсей. Phys. Rev., 149, 14, 1966.

[5] Ю.Л.Климонтович, П.С.Ланда, Е.Г.Ларионцев. ЖЭТФ, 52, 1616, 1967.
