

СУЖЕНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ РЕЗОНАНСОВ В ГАЗАХ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ

*С.Н.Багаев, Л.С.Василенко, А.К.Дмитриев,
М.Н.Скворцов, В.П.Чебожаев*

В настоящей работе впервые сообщается о наблюдении эффекта сужения нелинейного резонанса мощности, обусловленного влиянием медленных атомов. Благодаря этому эффекту удалось разрешить магнитную сверхтонкую структуру колебательно-вращательного перехода в метане на $\lambda = 3,39$ мкм ($F_2^{(2)}$ компонента линии $P(7)$ полосы ν_3) в He-Ne-лазере, поперечный размер светового пучка в котором ~ 4 мм.

1. В работах [1, 2] сообщалось о получении резонансов насыщения поглощения в метане на $\lambda = 3,39$ мкм с шириной ~ 1 мкц. Такие узкие резонансы были получены при давлениях $\sim 10^{-5}$ тор с телескопическим расширителем пучка вне лазера [1] и внутри резонатора [2] с диаметром пучка ~ 20 и ~ 10 см соответственно. Дальнейшее увеличение диаметра лазерного пучка с целью увеличения времени взаимодействия частиц с полем сопряжено с большими техническими трудностями. Недавно были предложены другие методы получения узких резонансов, основанные на использовании протяженных пучков частиц при двухфотонном поглощении [3] и нелинейного оптического резонанса Рамси [4]. Простой метод, в котором достигается увеличение времени когерентного взаимодействия атомов с полем, связан с селекцией атомов по скоростям. Как известно, образование лэмбовского провала связано с насыщением атомов, у которых проекция скорости на направление распространения излучения близка к нулю. При очень низких

давлениях длина свободного пробега частиц становится значительно больше поперечных размеров пучка. В этом случае медленные атомы будут взаимодействовать с полем более длительное время, чем атомы со среднетепловой скоростью. В результате при малых насыщениях медленные атомы дают основной вклад в лэмбовский провал, а ширина его будет определяться временем пролета этих атомов через лазерный пучок. На явление сужения нелинейного резонанса, обусловленное влиянием медленных атомов, впервые было обращено внимание еще в [5], однако, до сих пор оно не наблюдалось. В этой работе мы впервые сообщаем о наблюдении этого явления, которое может быть важным для получения сверхузких резонансов.

2. Наблюдение эффекта сужения резонанса мощности в области низких давлений газа проводилось в He-Ne-лазере с метановым поглотителем. Резонатор лазера был образован зеркалами с радиусами кривизны $R_1 = 10$ м и $R_2 = \infty$. Длина резонатора лазера составляла ≈ 5 м. Диаметр светового пучка в каустике был равен $\approx 4,5$ мм.

Изучение формы резонанса мощности исследуемого He-Ne-лазера было проведено с помощью опорного лазера, частота которого стабилизировалась по метановой линии поглощения. Регистрация резонанса осуществлялась по сигналу второй гармоники в мощности генерации при модуляции частоты излучения лазера, что позволяло увеличить разрешающую способность схемы измерений. Запись сигнала второй гармоники в зависимости от изменения частоты исследуемого лазера относительно опорного производилась на двухкоординатном самописце.

На рис. 1, а, б представлены результаты эксперимента. При давлении метана в ячейке ≈ 360 мктор форма наблюдаемого резонанса мощности близка к лоренцевой, и магнитная сверхтонкая структура (МСТС) на рабочем переходе метана ($F_2^{(2)}$ линия перехода $P(7)$ полосы ν_3) не разрешается. При уменьшении давления до 60 мктор удалось отчетливо наблюдать сверхтонкую структуру метана. На рис. 2, б видно три максимума, соответствующие центрам линий отдельных компонент МСТС. Расстояние между компонентами МСТС составляло ≈ 11 кГц, что согласуется с расчетными [6] и экспериментальными данными [7, 1, 2].

3. Детальный анализ поведения ширины резонанса в области низких давлений для гауссова профиля поля был проведен в [8]. На рис. 2 приведены результаты расчета зависимости однородной ширины линии от параметра $\Gamma\tau$ (Γ — частота столкновений, τ — время пролета атомов через пучок со среднетепловой скоростью) [8]. При заданном значении τ в области $0,5 < \Gamma\tau < 2$ зависимость полуширины резонанса γ от $\Gamma\tau$ (т. е. от ударной ширины) можно представить в виде $\gamma = 0,58/\tau + \Gamma$. Добавка $0,58/\tau$ к ударной полуширине Γ обуславливает вклад пролетных эффектов в ширину линии и определяет пролетную полуширину резонанса ($\Gamma_{пр}$). Уменьшение ширины резонанса 2γ становится заметным при $\Gamma\tau < 0,5$, и форма резонанса существенно отличается от лоренцевой. Полуширина резонанса на полувывоте теперь достаточно хорошо описывается выражением $\gamma \approx \frac{1,52}{\tau} \sqrt{\Gamma\tau}$, из которого видно, что при уменьшении $\Gamma\tau$ ширина резонанса становится значительно меньше пролетной ширины, обусловленной среднетепловыми атомами. Трудности экспериментального наблюдения эффекта сужения резонанса мощности, обусловленного мед-

ленными атомами, связаны с очень малой интенсивностью резонансов в пролетной области.

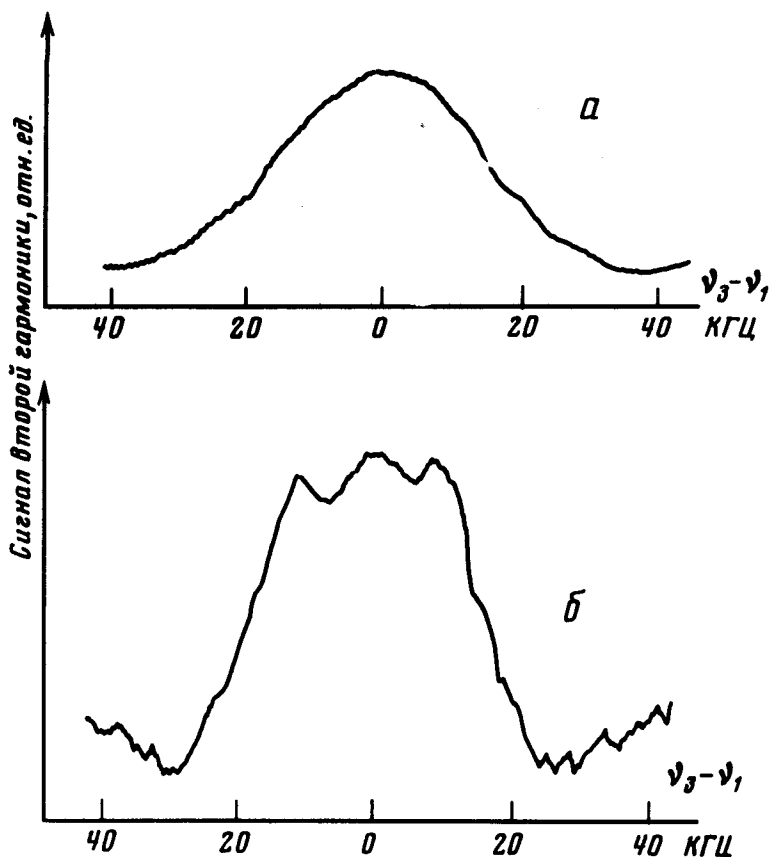


Рис. 1. Запись резонанса мощности (по второй гармонике) в He-Ne-лазере с CH_4 поглотителем при различных давлениях метана. Диаметр лазерного пучка 4,5 мм, давление CH_4 : а – 360 мктор, б – 60 мктор

В условиях эксперимента, описанного выше, при давлении метана 360 мктор величина параметра Γ_r составляла $\approx 0,15$. При таком значении параметра Γ_r , как следует из рис. 2, полуширина линии каждой компоненты МСТС равна $\gamma \approx 22$ кГц, что согласуется с экспериментом. Ударная полуширина резонанса при давлении 360 мктор составляет $\approx 5,4$ кГц (ударное уширение линии поглощения метана равно ≈ 30 МГц/тор [9]), а пролетная полуширина равна $\Gamma_{\text{пр}} \approx 20$ кГц. Следовательно, основной вклад в ширину наблюдаемого резонанса дают пролетные эффекты.

При давлении метана 60 мктор ударная полуширина резонанса мощности уменьшается до величины ≈ 900 Гц, а уширение из-за конечного времени взаимодействия среднетепловых молекул с полем остается тем же (≈ 20 кГц). В этих условиях изменение полуширины резонанса всего на ≈ 5 кГц не должно приводить к существенному изменению его формы и разрешению сверхтонкой структуры. Поэтому наблюдаемый эффект

сужения резонанса может быть обусловлен (лишь влиянием медленных атомов. Действительно, при $P_{\text{CH}_4} = 60 \text{ мктор}$ значение параметра $\Gamma\tau$

уменьшается до величины $\approx 2,5 \cdot 10^{-2}$. Однородная полуширина линии каждой отдельной компоненты МСТС, соответствующая этому значению $\Gamma\tau$, равна $\gamma \approx 9 \text{ кГц}$ (рис. см. 2), что значительно меньше пролетной полуширины $\Gamma_{\text{пр}} \approx 20 \text{ кГц}$. Для $\gamma \approx 9 \text{ кГц}$ сверхтонкая структура метана разрешается, что и наблюдалось в эксперименте.

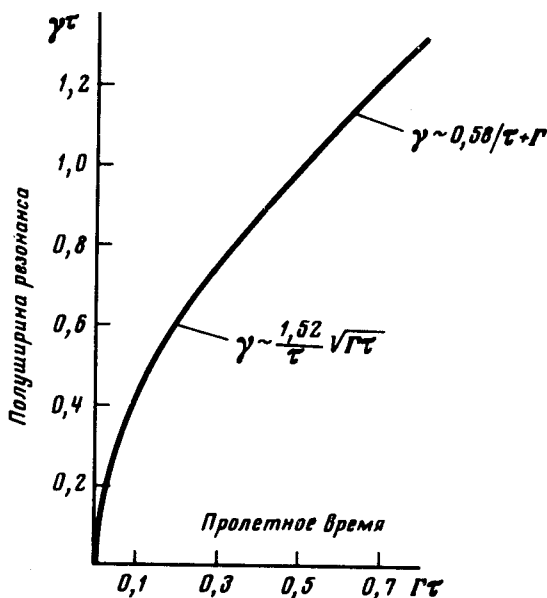


Рис. 2. Зависимость полуширины лэмбовского провала γ от параметра $\Gamma\tau$

Таким образом, сужение нелинейных резонансов в области низких давлений газа из-за медленных атомов значительно расширяет возможности нелинейной спектроскопии без использования телескопических систем.

Авторы выражают благодарность Е.А.Титову и Е.В.Бакланову за полезные обсуждения и Н.М.Дюбе за помощь в монтаже установки.

Институт физики полупроводников
Академии наук СССР
Сибирское отделение

Поступила в редакцию
3 марта 1976 г.

Литература

- [1] J. L. Hall, S. Borde, K. Uehara. Доклад на II Всесоюзном Симпозиуме по физике газовых лазеров, Новосибирск, 1975 г.

- [2] С.Н.Багаев, Л.С.Василенко, В.Г.Гольдорт, А.К.Дмитриев, М.Н.Скворцов, В.П.Чеботаев. Доклад на II Всесоюзном Симпозиуме по физике газовых лазеров. Новосибирск, 1975 г.
- [3] E.V.Baklanov, V.P.Chebotayev. Opt. Comm., 12, 312, 1974.
- [4] Е.В.Бакланов, Б.Я.Дубецкий, В.П.Чеботаев. Препринт №27, ИФП СО АН СССР, 1975 г.; E.V.Baklanov, B.Ga. Dubetsky, V.P.Chebotayev. Appl. Phys., 1 - 3, 1975.
- [5] С.Г.Раутиан, А.М.Шалагин. ЖЭТФ, 58, 962, 1970.
- [6] K.Shimoda. Japan, J. of Appl. Phys., 12, 1393, 1973.
- [7] J.L.Hall, C.Bordé. Phys. Rev. Lett., 30, 1101, 1973.
- [8] Е.В.Бакланов, Б.Я.Дубецкий, В.М.Семибаламут, Е.А.Титов. Квантовая электроника. 2, №11, 1975.
- [9] С.Н.Багаев, Е.В.Бакланов, В.П.Чеботаев. Письма в ЖЭТФ, 16, 15, 1972.
-