

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМЫ НЕЛИНЕЙНЫХ РЕЗОНАНСОВ ПРИ НИЗКИХ ДАВЛЕНИЯХ

С.Н.Багаев, А.С.Дычков, В.П.Чеботаев

Впервые сообщается о прямом спектроскопическом наблюдении упругого рассеяния возбужденных частиц на малые углы $\sim 10^{-2}$ рад. при столкновениях. Исследовано влияние таких столкновений на форму узких резонансов в метане.

1. В работах [1, 2] были обнаружены качественные особенности в поведении ударного уширения и сдвига узких резонансов в газе низкого давления. Столкновительное уширение и сдвиг нелинейным образом зависит от плотности газа, когда заведомо справедлива бинарная модель столкновений (рабочее давление газа $\sim 10^{-3}$ тор). Объяснение обнаруженных явлений связывалось в [1, 2] с влиянием упругого рассеяния частиц на малые углы без сбоя фаз. Когда доплеровское смещение частоты $\Delta\omega_D = ku\theta$ при рассеянии на характерный угол θ ($\theta \sim 10^{-2}$ рад) больше однородной ширины линии 2Г, частицы после столкновения не взаимодействуют с полем (k — волновое число, u — среднетепловая скорость). В этой области давлений уширение линии определяется полным сечением рассеяния. С ростом давления газа однородная ширина линии увеличивается и наступает момент, когда 2Г может быть больше $\Delta\omega_D$. Тогда частица после столкновения продолжает взаимодействовать с полем, и столкновения без сбоя фазы не приводят к уширению резонанса. Здесь уширение будет определяться неупругими процессами и сбивающими фазу столкновениями. Таким образом, при наличии столкновений без сбоя фазы дипольного момента уширение при низких давлениях, где $ku\theta \gg \Gamma$ и высоких давлениях, где $ku\theta \ll \Gamma$ могут значительно отличаться. Выполненные до [1,2] теоретические исследования по влиянию столкновений на форму резонансов, основывающиеся на использовании феноменологических констант, характеризующих частоту столкновений, даже качественно не объясняли результатов [1, 2]. Первые строгие теоретические исследе-

дования [3, 4] с использованием кинетических уравнений для матрицы плотности, в которых члены прихода и ухода выражены через амплитуды рассеяния, качественно согласуются с результатами [1, 2]. Недавно нелинейные зависимости ударного уширения резонанса в газе низкого давления наблюдались также в NH_3 [5], J_2 [6], CO_2 [7, 8], Xe [9]. Расчет зависимости ширины резонанса от плотности газа в CO_2 , проведенный в [10], находится в удовлетворительном количественном согласии с экспериментом [8]. Заметим, что при $ku\theta \ll \Gamma$ форма резонанса оказывается сложной. Он состоит из узкой части и пьедестала, ширина которого прямо связана с характеристиками дифференциального сечения рассеяния [3, 4]. В этой работе мы впервые сообщаем об исследованиях формы резонанса в области низких давлений и прямом спектроскопическом наблюдении упругого рассеяния возбужденных частиц на малые углы¹⁾.

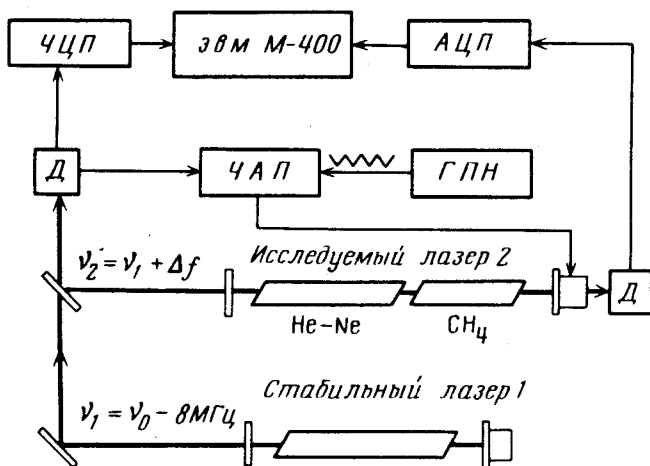


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: Д — фотодетектор, ЧАП — электронная система частотной автоподстройки частоты, ГПН — генератор пилообразных напряжений, ЧЦП — частотно-цифровой преобразователь, АЦП — амплитудно-цифровой преобразователь

2. Схема экспериментальной установки показана на рис. 1. Частота стабильного лазера 1 смещена относительно центра линии метана на величину ≈ 8 МГц. Исследуемый лазер 2 с внутренней метановой ячейкой с помощью системы частотной автоподстройки (ЧАП) "привязывался" к частоте лазера 1 со сдвигом на величину Δf , которая менялась в диапазоне $1 \div 16$ МГц путем подачи пилообразного напряжения на частотный дискриминатор ЧАП. Это позволило сканировать частоту лазера 2 относительно центра линии поглощения метана. Измерительная система представляла 512-канальный спектроанализатор на базе ЭВМ

¹⁾ Результаты этой работы были доложены авторами на VI Международной конференции по атомной физике (г. Рига, август, 1978 г.).

М-400. На один вход подавался сигнал разностной частоты лазеров ($\nu_2 - \nu_1$), а на другой — сигнал, пропорциональный мощности излучения лазера \mathcal{L} . В отличие от традиционных методов исследования формы резонансов, основанных на регистрации переменной составляющей мощности излучения при модуляции частоты лазера, мы регистрировали непосредственно резонанс мощности. Это позволило повысить чувствительность в регистрации крыльев резонанса. Однако влияние дрейфа и флуктуаций мощности резко возросло. Последние устранялись при обработке сигнала с помощью ЭВМ. После каждого прохода частоты через резонанс осуществлялась коррекция уровня мощности лазера. Созданная экспериментальная установка позволила исследовать форму резонанса при контрастности $\sim 0,001^1$.

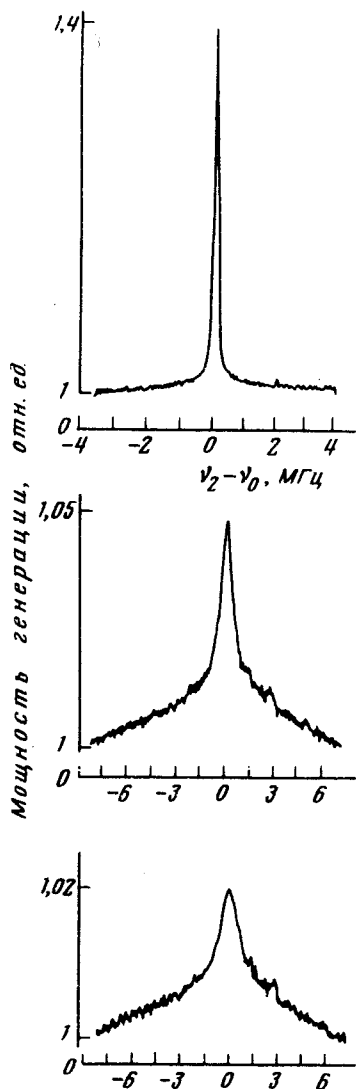


Рис. 2. Запись формы резонанса в метане при различных давлениях гелия: а — $P_{\text{CH}_4} = 1$ мтор, $P_{\text{He}} = 0$, б — $P_{\text{CH}_4} = 1$ мтор, $P_{\text{He}} = 20$ мтор, в — $P_{\text{CH}_4} = 1$ мтор, $P_{\text{He}} = 43$ мтор

¹) Измерительный комплекс на основе ЭВМ разработан Борисовым, Гусевым [11], которым авторы выражают глубокую благодарность.

Повышение чувствительности связано с уменьшением дрейфа мощности генерации.

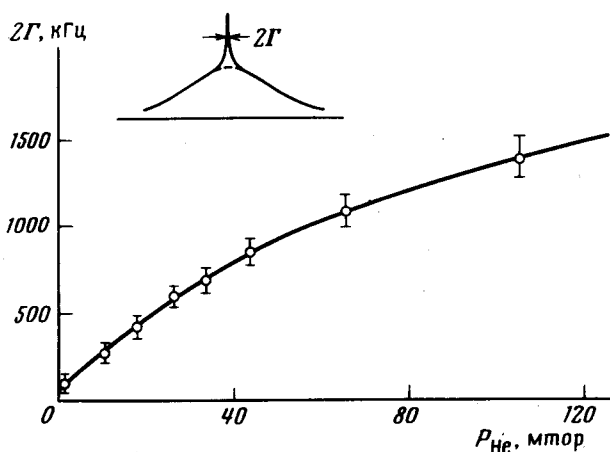


Рис. 3. Зависимость ширины резонанса 2Γ от давления гелия. Давление метана $\sim 10^{-3}$ тор

3. На рис. 2 представлена форма резонанса при различных давлениях гелия в ячейке с метаном. При давлении метана $\sim 10^{-3}$ тор резонанс имеет лоренцеву форму и ширину ~ 70 кгц. С добавлением гелия резонанс уширяется и появляется пьедестал с шириной $\sim 2 \div 3$ Мгц. Обработка результатов показала, что ширина узкой части резонанса нелинейно зависит от давления (рис. 3). Это является очень важным для подтверждения теории [3, 4]. В области давления $1 \div 10$ мтор уширение резонанса составляет величину ~ 20 Мгц/тор и обусловлено полным сечением упругого рассеяния.

Наблюдалось небольшое смещение пьедестала относительно центра резонанса, что может быть обусловлено их различными ударными сдвигами. При низких давлениях (~ 10 мтор), когда частота столкновений мала, форма пьедестала прямо связана с характеристиками дифференциального сечения рассеяния. Из данных рис. 2, б можно получить значение характерного угла θ , который имеет величину $\sim 1^\circ$. С ростом давления относительная амплитуда пьедестала увеличивается. При $P_{He} = 0,1$ тор амплитуда пьедестала сравнивается с амплитудой резкой части резонанса.

Авторы благодарят Е.В.Бакланова и Л.С.Василенко за обсуждение, А.Ю.Гусева за участие в эксперименте.

Институт теплофизики
Академии наук СССР
Сибирское отделение

Поступила в редакцию
16 марта 1979 г.

Литература

- [1] С.Н.Багаев, Е.В.Бакланов, В.П.Чеботаев. Письма в ЖЭТФ, 16, 15, 1972.

- [2] С.Н.Багаев, Е.В.Бакланов, В.П.Чеботаев. Письма в ЖЭТФ, 16, 344, 1972.
- [3] В.А.Алексеев, Т.Л.Андреева, И.И.Собельман. ЖЭТФ, 64, 813, 1973.
- [4] Е.В.Бакланов. Оптика и спектроскопия, 38, 24, 1975. (см. Препринт №22, ИФП СО АН СССР, 1972).
- [5] A.T.Mattick, N.A.Kurnit, A.Javan. Chem. Phys. Lett., 38, 176, 1976.
- [6] C.J.Borde. Laser Spectroscopy III, ed. J. L. Hall, J.L.Carlsten. Springer Verlag. Berlin, Heidelberg, New York, 1977.
- [7] T.W.Meyer, C.K.Rhodes, H.A.Haus. Phys. Rev., A12, 1993, 1975.
- [8] L.S.Vasilenko, V.P.Kochanov, V.P.Chebotayev. Optics Comm., 20, 409, 1977.
- [9] Ph.Cahuzac, E.Marié, O.Robaux, R.Vetter, P.R.Berman. J.Phys. B: Atom. Molec. Phys., 11, 645, 1978.
- [10] В.П.Кочанов, С.Г.Раутиан, А.Г.Шалагин. ЖЭТФ, 72, 1358, 1977.
- [11] Б.Д.Борисов, А.Ю.Гусев. Доклад на I Всесоюзной конференции по проблемам управления параметрами лазерного излучения, Ташкент, 1978.
-