

НЕЛИНЕЙНОЕ СЕЛЕКТИВНОЕ ОТРАЖЕНИЕ БИХРОМАТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ОТ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА ПРОЗРАЧНЫЙ ДИЭЛЕКТРИК – РЕЗОНАНСНЫЙ ГАЗ

В.Л. Величанский, Р.Г. Гамидов, Г.Т. Пак, В.А. Саутенков

Экспериментально исследован дифференциальный спектр отражения одной из компонент интенсивного бихроматического излучения от границы раздела стекло–пары цезия. Зарегистрированы резонансы нелинейного изменения коэффициента отражения (НИКО). Предложенное объяснение формирования этих резонансов включает четыре механизма: насыщение оптического перехода, столкновение с резонансной передачей возбуждения, селективное по скоростям оптическая накачка атомов и когерентное племение населенностей.

В последнее время селективное зеркальное отражение (СЗО), привлекает все большее внимание. В частности теоретически и экспериментально исследовались форма внутридоплеровских резонансов отражения, обусловленных деполяризующими столкновениями атомного газа с поверхности раздела газ–стекло для случая низкой¹⁻³ и высокой⁴⁻⁷ интенсивности излучения, зарегистрированы резонансы насыщенного отражения в схеме двух встречных поверхностных волн^{3,5} и резонансы самодифракции на нелинейном газовом зеркале⁵. В настоящей работе приведены результаты экспериментального исследования спектра НИКО одной из компонент интенсивного бихроматического излучения от границы раздела стекло–пары¹³³Cs в спектральной окрестности D₂-линии ($\lambda = 852$ нм). Сверхтонкое расщепление соответствующего возбужденного состояния $6P_{3/2}(F')$ меньше доплеровской ширины $\Delta\nu_D \approx 0,4$ ГГц, а частотный интервал $\Delta\nu_0 \approx 9,2$ ГГц между подуровнями основного состояния $6S_{1/2}(F=3)$ и $6S_{1/2}(F=4)$ значительно превышает $\Delta\nu_D$. Эксперименты проводились при концентрации атомов цезия $N \approx 3,3 \cdot 10^{14}$ см⁻³ когда сумма радиационной $\gamma_r \approx 5,3$ МГц и столкновительной $\gamma_c \approx 1,1 \cdot 10^{-7}N$ Гц ≈ 36 МГц ($N[\text{см}^{-3}]$) ширины линии была меньше $\Delta\nu_D$ ¹. Однородная ширина линии $\gamma = \gamma_r + \gamma_c$ определялась по методике развитой в¹, а именно, измерялся частотный интервал между точками перегиба внутридоплеровских резонансов линейного СЗО при нормальном падении излучения. Бихроматическое излучение формировалось двумя независимыми инжекционными лазерами с внешним резонатором ИЛВР 1 (насыщающий) и ИЛВР 2 (пробный). Частоты излучения ИЛВР 1 и ИЛВР 2 стабилизировались по конфокальным интерферометрам. Один из них работал в режиме сканирования, так что частота ИЛВР 2 перестраивалась в окрестности длинноволновой (рис. 1) или коротковолновой (рис. 2) компоненты D₂-линии цезия. Частота излучения насыщающего лазера фиксировалась на значениях частоты перехода $6S_{1/2}(F=4) - 6P_{3/2}(F'=5)$ (ν_{45}) (рис. 1б, 2б) или $6S_{1/2}(F=4) - 6P_{3/2}(F'=4)$ (ν_{44}) (рис. 1в, 2в) с точностью ± 25 МГц по внутридоплеровскому спектру насыщенного поглощения, регистрировавшемуся с помощью вспомогательной ячейки с низкой ($\sim 3 \cdot 10^{10}$ см⁻³) концентрацией атомов цезия. Ширина спектра излучения каждого лазера меньше 1 МГц, мощность излучения составляла около 2 мВт. Более подробно описание лазера дано в⁹. Для повышения интенсивности, лазерное излучение фокусировалось на окно стеклянной кюветы с насыщенными парами цезия. Сходимость и непараллельность световых пучков не превышали $2 \cdot 10^{-2}$ рад. Сечение световых пучков на поверхность раздела стекло–пары цезия составляли $0,2 \times 0,5$ мм² и тщательно совмещались. Насыщающий луч до падения на кювету с парами цезия прерывался с частотой 500 Гц. Пробный луч после отражения от поверхности раздела стекло–пары цезия направлялся на фотодиод. Сигнал с фотодиода после резонансного усиления и синхронного детектирования на частоте 500 Гц подавался на двухкоординатный самописец. Интенсивность насыщающего излучения $J_s \approx 2,8$ Вт/см² превышала интенсивность пробного излучения J_p 4 раза. Для устранения внутридоплеровских резонансов СЗО, наблюдающихся при нормальном падении, и упрощение спектра НИКО бихромати-

ческое излучение направлялось на поверхность раздела стекло-пары неэпия под сравнительно большим углом $\Theta \approx 16^\circ$.

Регистрировался также линейный контур СЗО, рис 1а и 2а. В этом случае насыщающий луч перекрывался, а интенсивность пробного излучения ослаблялась до величины $J_p \approx 3 \text{ мВт/см}^2$.

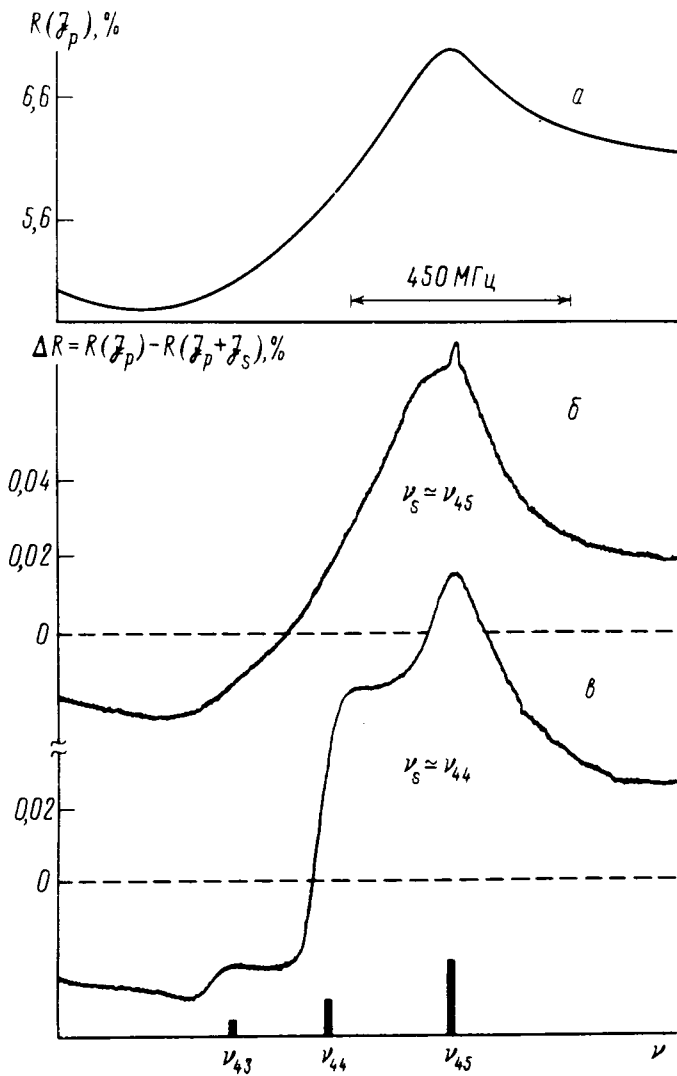


Рис. 1

для которой частота Раби значительно меньше однородной ширины линии $\gamma \approx 41 \text{ МГц}$. Спектральные зависимости НИКО $\Delta R = R(J_p) - R(J_p + J_s)$ при настройке насыщающего излучения на частоту замкнутого перехода ν_{45} приведены на рис. 1б и 2б. Положительное значение ΔR на рис. 1б, в и рис. 2б, в соответствуют уменьшению коэффициента отражения излучения пробного лазера. Наличие сигнала в широкой спектральной полосе, охватывающей переходы $6S_{1/2} (F=3) - 6P_{3/2} (F'=2, 3, 4)$ (рис. 2б) связано по всей видимости с процессами резонансной передачи возбуждения подуровня $6P_{3/2} (F'=5)$ на другие подуровни возбужденного состояния при межатомных столкновениях. Подтверждением этой гипотезы является качественное согласие спектральной зависимости ΔR на рис. 2б и линейного контура СЗО приведенного на рис. 2а, что соответствует предсказываемой теорией атомных столкновений независимости сечения резонансных столкновений от скорости ¹⁰. НИКО пробной волны, при сканировании ее частоты в спектральной полосе $6S_{1/2} (F=4) - 6P_{3/2} (F'=3, 4, 5)$ (рис. 1б) связано в основном с прямым насыщением оптического перехода ν_{45} под действием второго лазера

ра. В формировании сигнала ΔR на рис. 1б по-видимому также дают вклад процессы резонансной передачи возбуждения с $6P_{3/2}$ ($F' = 5$) на $6P_{3/2}$ ($F' = 4, 3, 2$) и оптической перекачки атомов с уровня $6S_{1/2}$ ($F = 4$) на $6S_{1/2}$ ($F = 3$). Спектр ΔR на рис. 1б качественно согласуется с линейным контуром СЗО (рис. 1а), только на частоте ν_{45} имеется спектральная особенность. Вблизи частоты перехода ν_{45} пробное и насыщающее излучение взаимодействует с одной и той же скоростной группой атомов цезия и появляется узкий резонанс насыщения, вероятно связанный с когерентными эффектами в распределении населенности¹¹. Ширина этого пика насыщения $\Gamma_1 \approx 20$ МГц меньше однородной ширины атомного перехода γ . Резкое изменение контура ΔR наблюдается при смещении частоты насыщающего излучения на открытый переход ν_{44} (рис. 1в и рис. 2в) в этом случае происходило увеличение эффективности во-первых, насыщение переходов ν_{44} и ν_{43} , во-вторых, оптической перекачки атомов с подуровня $6S_{1/2}$ ($F = 4$) на $6S_{1/2}$ ($F = 3$), что приводило к увеличению ΔR в окрестности частот ν_{44} и ν_{43} (рис. 1в).

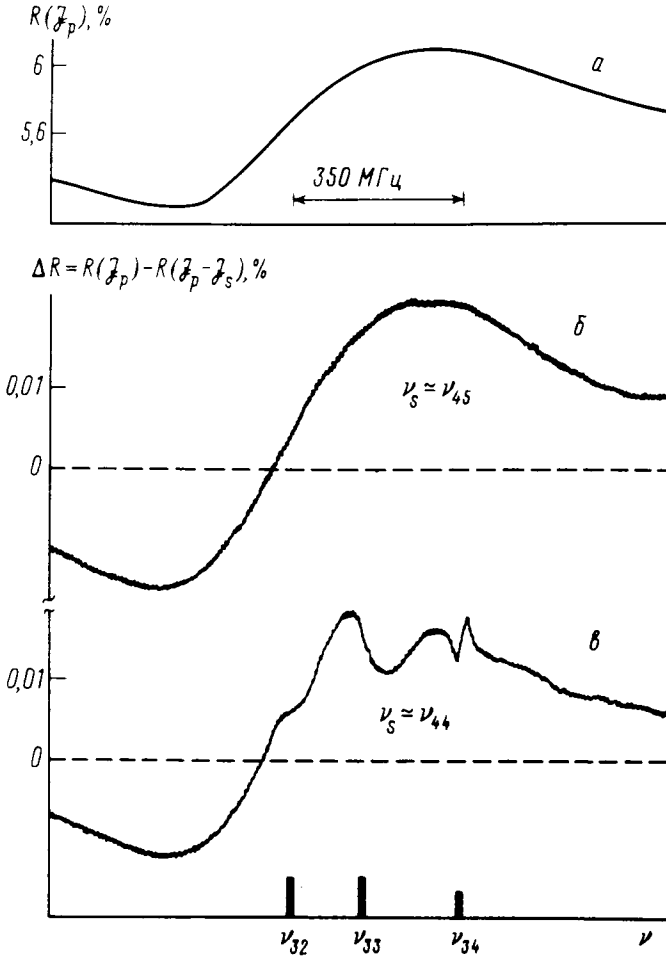


Рис. 2

На рис. 2в кроме сравнительно широких резонансов в окрестности частот $\nu_{32}, \nu_{33}, \nu_{34}$ (обусловленных оптической накачкой) с шириной ~ 100 МГц, появление которых приводило к уменьшению ΔR , на частоте ν_{34} наблюдается узкий резонанс дисперсионной формы (в отличие от формы узкого резонанса на рис. 1б) с шириной $\Gamma_2 \approx 20$ МГц соответствующий Λ конфигурации возбуждения атомных переходов ν_{44} и ν_{34} . Появление узких резонансов на рис. 1б и рис. 2в по-видимому связано с когерентными эффектами в распределении населенностей подуровней основного и возбужденного состояний под действием бихроматического излучения¹¹. Согласно¹¹, ширина резонансов обусловленных когерентным пленением населен-

ностей определяется скоростью релаксации основного состояния атомов и полевым уширением. Для паров цезия сечение столкновительного уширения основного и возбужденного состояния отличаются в 10^3 раз¹², т.е. ширина узких резонансов на рис. 1б и рис. 2в ограничены полевым уширением. Такое предположение основывается на относительно малом (< 10 МГц) уширении резонансов $\Gamma \approx 20$ МГц при увеличении столкновительной ширины γ_c атомов от 36 МГц до 160 МГц. По-видимому, снижая интенсивность бихроматического излучения можно приближаться к ширине резонансов сравнимой со скоростью релаксации основного состояния.

Таким образом, предложенная методика исследования СЗО с помощью интенсивного бихроматического излучения оказалась высокоинформативной: обнаружены эффекты, связанные со спонтанной накачкой, когерентным пленением населенности и резонансным обменом. Представленное в статье качественное объяснение наблюдавшихся спектров нелинейного изменения коэффициента отражения не является исчерпывающим и требует детального теоретического анализа. Дальнейшее изучение этих эффектов перспективно для получения новой информации о процессах, происходящих в оптически плотных газовых средах.

Авторы благодарны А.М.Акульшину, Т.А.Варганяну, Р.Гримму, Ю.А.Рождественскому за полезные обсуждения результатов.

Литература

1. Акульшин А.М. и др. Письма в ЖЭТФ, 1982, 36, 247.
2. Schuurmans M.F.H. - Contemp. Phys., 1980, 21, 243.
3. Gibb M., Haugen H.K. Chem. Phys. Lett., 1989, 159, 573.
4. Варганян Т.А. ЖЭТФ, 1985, 88, 1147.
5. Акульшин А.М. и др. Кр. сообщения по физике ФИАН, 1987, 5, 42.
6. Акульшин А.М. и др. Опт. и спектроскопия, 1989, 66, 723.
7. Nienhuis G., Schuller F., Ducloy M. Phys. Rev. A, 1988, 38, 5197.
8. Simonneau P. et al. Opt. Comm., 1986, 59, 103.
9. Акульшин А.М. и др. ЖЭТФ, 1989, 96, 107.
10. Вдовин Ю.А. и др. Вопросы атомных столкновений. М.: Атомиздат, 1970.
11. Горный М.Б. и др. ЖЭТФ, 1989, 95, 1263.
12. Harper W. Rev. Mod. Phys., 1972, 44, 169.

Физический институт им. П.Н.Лебедева
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
11 июня 1990 г.