

УДК 535.55

ã Я. А. Фофанов

О НЕЛИНЕЙНЫХ ЭФФЕКТАХ В УСЛОВИЯХ РЕЗОНАНСНОГО ПВО

Исследованы некоторые нелинейные свойства спектров резонансного отражения в наклонной геометрии. Рассмотрена асимметрия насыщения резонансов отражения. Описаны новые нелинейные структуры на вершинах отражательных резонансов. Эта работа частично поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (грант № 06-02-17219-а).

ВВЕДЕНИЕ

Селективное (резонансное) отражение происходит при падении света (лазерного излучения) на границу раздела между прозрачным диэлектриком и атомным газом [1–11]. При настройке частоты лазера на резонансные линии в интенсивности отраженного света появляются характерные изменения. Теоретически и экспериментально наиболее подробно исследован случай ортогонального падения, при котором обнаружены внутридоплеровские резонансы, определяемые особенностями взаимодействия света с атомными ансамблями вблизи поверхности [2, 3]. Это явление используется в спектроскопии плотных газов для изучения столкновительного уширения линий [4, 7, 8]. На основе селективного отражения могут быть созданы резонансно-отражающие лазерные зеркала [12, 13].

В наших работах экспериментально реализовано резонансное отражение излучения квантово-одномодового полупроводникового лазера от границы раздела "стекло—щелочной пар" при углах падения, близких к критическому углу ПВО [14]. При умеренных, экспериментально достаточно легко достижимых плотностях паров, резонансное изменение условий отражения в наклонной геометрии приводит к появлению сильных отражательных резонансов. Если частота генерации лазера синхронизирована внешним резонатором, то при сканировании тока инжекции наблюдаются характерные ступеньки в интенсивности отраженного света (квазиуровни интенсивности) [15]. Продemonстрировано насыщение резонансов отражения и квазиуровней лазерным полем, а также снижение флуктуаций интенсивности в отраженном свете [14, 15].

Данная работа посвящена исследованиям некоторых нелинейных свойств спектров резонансного отражения в наклонной геометрии. Рассмотрена

асимметрия насыщения резонансного отражения и образование новых нелинейных структур на вершинах отражательных резонансов.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

Экспериментальная установка содержала полупроводниковый лазер, синхронизированный внешним резонатором, отражающие кюветы, систему регистрации и компьютерного управления экспериментом, а также ряд вспомогательных элементов и устройств [16]. В качестве резонансной среды использовался газ из естественной смеси изотопов рубидия. Для исследования нелинейных явлений на границе "диэлектрик—резонансный газ" поверхностная плотность мощности лазерного излучения была увеличена до насыщающих значений (десятки—сотни Вт/см²) с помощью фокусирующей системы.

В процессе исследований было обнаружено, что при увеличении поверхностной плотности мощности резонансы отражения насыщаются неодинаково. Наиболее подробно это явление исследовано для углов падения, при которых за пределами резонансов выполняются условия ПВО [17].

На рис. 1 представлены спектры отражения, снятые при различных значениях поверхностной плотности мощности падающего лазерного излучения. Кривая 1 соответствует ненасыщающим полям, кривые 2 и 3 сняты при необходимой для насыщения степени фокусировки. Хорошо видно, что по мере насыщения глубина провала А', соответствующего низкочастотной сверхтонкой компоненте Rb⁸⁵ [18], уменьшается значительно быстрее, чем глубина провала а' для низкочастотной сверхтонкой компоненты Rb⁸⁷. Более того, указанной асимметрии насыщения не обнаружено для высокочастотных сверхтонких компонент В' и в'. Это в значительной степени исключает объяснение

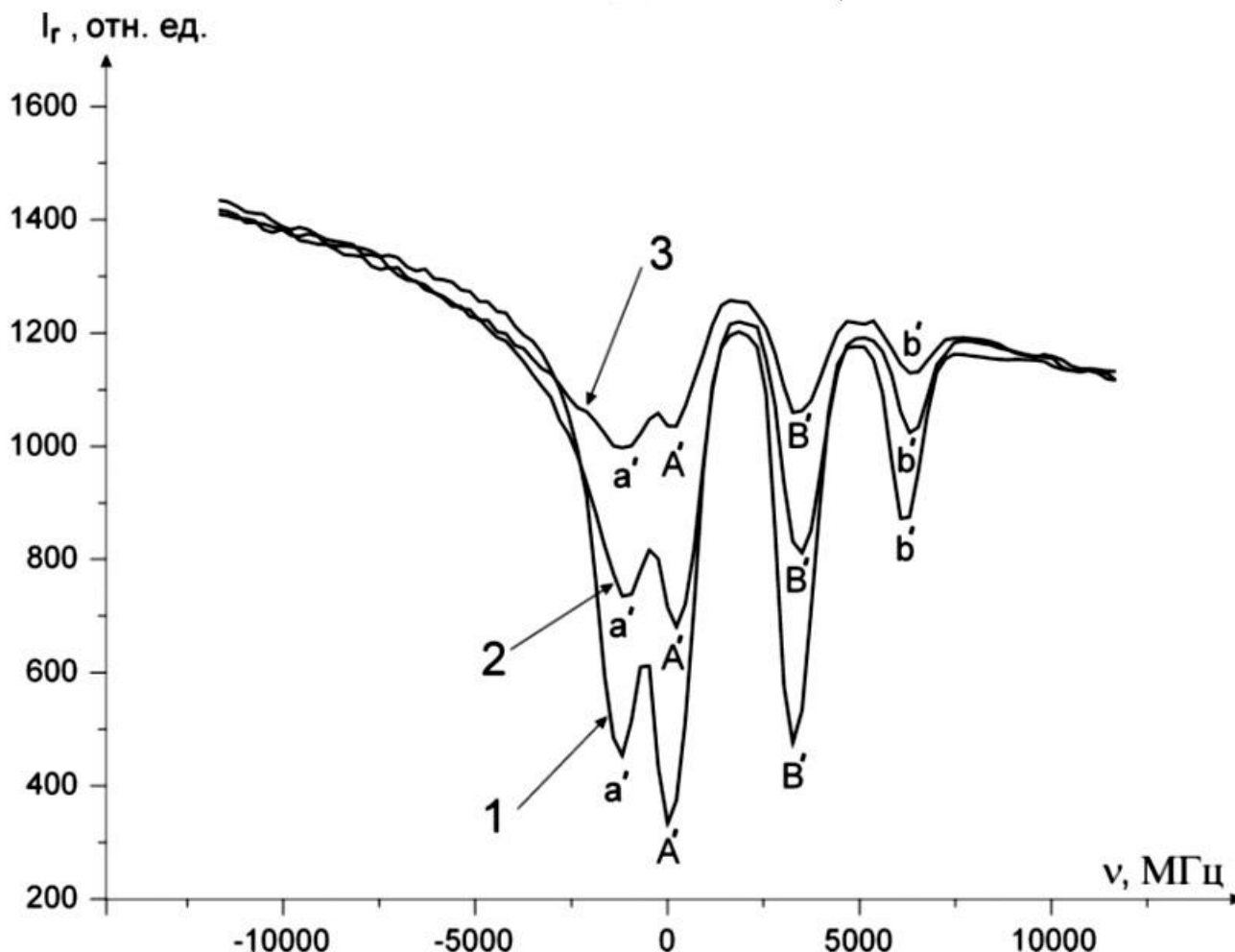


Рис. 1. Насыщение отражательных резонансов. I_r — интенсивность отраженного света. Величина поверхностной плотности мощности увеличивается с увеличением номера кривой

наблюдаемого явления обычными эффектами оптической накачки или оптической ориентации атомов [19], т. к. тогда аналогичная асимметрия насыщения должна была бы наблюдаться также и для компонент B' и b' .

При исследованиях нелинейного отражения нами были обнаружены также новые нелинейные структуры на вершинах отражательных резонансов. Структуры содержат один или несколько пиков с контрастностью единицы процентов и существуют только в нелинейном режиме и только при определенной степени насыщения. Расстояние между пиками составляет около (100–300) МГц. При сканировании частоты лазера структуры в зависимости от настройки наблюдаются одновременно на двух наиболее сильных пиках или на одном из них.

На рис. 2 представлен один из характерных

спектров отражения. На спектре видны сильные отражательные резонансы A'' и B'' , связанные со сверхтонким расщеплением основного состояния для Rb^{85} [18]. На вершине резонанса A'' хорошо заметны компоненты P_1 и P_2 , имеющие вид характерных пиков.

Наблюдаемые структуры нельзя, по-видимому, связать с хорошо известными внутридоплеровскими резонансами в селективном отражении [4], т. к. эти резонансы наблюдаются при ортогональном падении и появляются при ненасыщающих плотностях мощности, а при увеличении плотности мощности начинают насыщаться [20]. В отличие от внутридоплеровских резонансов обнаруженные нами структуры образуются только в достаточно узком интервале значений поверхностной плотности мощности и не обладают свойствами насыщения в обычном понимании.

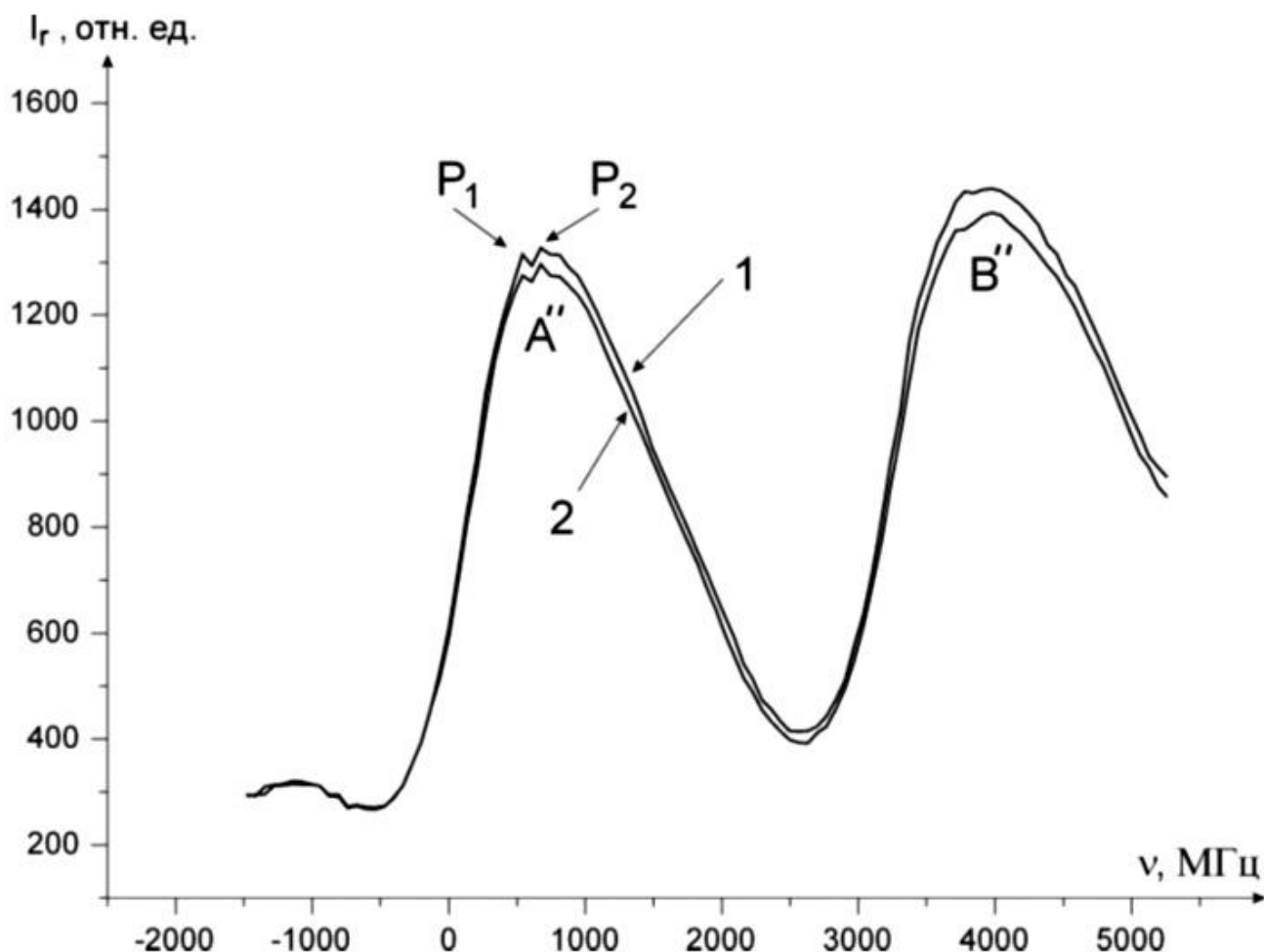


Рис. 2. Нелинейные структуры в спектрах селективного отражения. Кривые 1 и 2 показывают спектры, полученные для двух независимых сканов частоты лазера

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе изучены некоторые нелинейные свойства спектров резонансного отражения в наклонной геометрии. Описаны два наиболее интересных результата — наблюдение асимметрии насыщения резонансного отражения и обнаружение новых нелинейных структур на вершинах отражательных резонансов.

Одно из возможных объяснений наблюдаемой асимметрии насыщения основано на том хорошо известном факте, что неоднородно уширенные компоненты a' и A' частично перекрываются. Кроме этого необходимо учесть, что относительная концентрация Rb^{85} в естественной смеси составляет 72 %, а Rb^{87} — 28%. Это может, по-видимому, приводить к неравноправному квазирезонансному обмену возбуждениями при столкновениях между Rb^{85} и Rb^{87} . При этом возбуждение компоненты a' эффективнее передается компоненте A' , чем на-

оборот. В результате появляется дополнительный механизм несимметричного уширения, что ведет к меньшему насыщению, а на спектрах отражения проявляется в более медленном уменьшении глубины провала для низкочастотной сверхтонкой компоненты Rb^{87} .

Наблюдаемые нелинейные структуры связаны, возможно, с проявлениями в изучаемой системе свойств бистабильности, когда насыщение отражения ведет к увеличению интенсивности преломленного пучка, что в свою очередь приводит к еще большему насыщению отражения. Не исключено, что в исследуемых условиях начинают проявляться эффекты, в том числе поперечные, подобные описанным в монографии [21]. Возможно также, что становятся заметными сверхтонкие расщепления возбужденных состояний [18]. Необходимы дальнейшие, более детальные экспериментальные и теоретические исследования.

Поскольку обнаруженные нелинейные струк-

туры имеют малый контраст, нами выполнен теоретический анализ возможности их наблюдения с использованием техники модуляции состояния поляризации в сочетании с дифференциальным детектированием. Этот анализ указывает возможные пути высокочувствительной поляризационной регистрации обнаруженных эффектов [22].

Эта работа частично поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (грант № 06-02-17219-а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wood R.W. // *Philos. Mag.* 1909. V. 18. P. 187.
2. Cojan J.L. Contribution a l'etude de la reflection selective sur les vapeurs de mercure de la radiation de resonance du mercure // *Ann. Phys.* (Paris). 1954. V. 9. P. 385–440.
3. Schurmans M.F.H. Spectral Narrowing of Selective Reflection. // *J. Phys.* (Paris). 1976. V. 37. P. 469–485.
4. Саутенков В.А. и др. Внутридоплеровские резонансы D2-линии цезия в контуре селективного зеркального отражения. // *Квантовая электроника*. 1981. Т. 8, № 9. С. 1867–1872.
5. Boissel P., Kerherve F. Absorption de lumiere par des atomes dans onde evanescente // *Opt. Commun.* 1981. V. 37, N 6. P. 397–402.
6. Simoneau P., et al. Doppler-free evanescent wave spectroscopy. // *Opt. Commun.* 1986. V. 59. N 2. P. 103–106.
7. Акульшин А.М., Саутенков В.А., Величанский В.Л., Никитин В.В. Селективное отражение — метод внутридоплеровской спектроскопии оптически плотных газовых сред // *Препринт ФИАН им. П.Н. Лебедева*. № 257, 1987. 44 с.
8. Вартамян Т.А. Резонансное отражение интенсивного оптического излучения от границы разреженной газовой среды // *ЖЭТФ*. 1985. Т. 88, № 4. С. 1147–1152.
9. Schuller F., Gorceix O., Ducloy M. Nonlinear Selective Reflection in Cascade Three-Level Atomic System // *Phys. Rev. A*. 1993. V. 47, N 1. P. 519–528.
10. Guo J., Cooper J., Gallagher A., Lewenstein M. Theory of Selective Reflection Spectroscopy // *Opt. Commun.* 1994. V. 110. P. 197–208.
11. Nienhuis G., Schuller F., Ducloy M. Nonlinear Selective Reflection from an Atomic Vapor at Arbitrary Incidence Angle // *Phys. Rev. A*. 1998. V. 386, N 15. P. 5197–5205.
12. Величанский В.Л. и др. Полупроводниковый лазер с внешним селективным зеркалом на парах ^{133}Cs // *Квантовая электроника*. 1978. Т. 5, № 7. С. 1465–1470.
13. Андреев А.В. Самомодуляция добротности при генерации коротких импульсов // *Письма в ЖТФ*. 1986. Т. 12, № 17. С. 1025–1028.
14. Fofanov Ya.A. Transformation of Intensity Fluctuations in Nonlinear Reflection of Light // *Optics and Spectroscopy*. 2003. V. 94, N 5. P. 802–804.
15. Fofanov Ya.A. Controlling the Intensity and Fluctuations of Light upon Its Selective Reflection // *Optics and Spectroscopy*. 2005. V. 99, N 3. P. 457–458.
16. Fofanov Ya.A., Sokolov I.V. Sub-Poissonian Single-Mode Lasing in a Semiconductor Laser with an External Cavity // *Journal of Optical Technology*. 2003. V. 70, N 1. P. 38–41.
17. Fofanov Ya.A., Rodichkina A.A. Strong Resonance Reflection of Polarized Light from an Alkali Vapor // *Optics and Spectroscopy*. 2007. V. 103, N 2. P. 322–324.
18. Григорьянц В.В., Жаботинский М.Е., Золн В.Ф. Квантовые стандарты частоты. М.: Наука, 1968. 177 с.
19. Быковский Ю.А. и др. Оптическая накачка и нелинейные эффекты в спектроскопии D₂-линии цезия // *Письма в ЖЭТФ*. Т. 19, № 11. С. 665–668.
20. Акульшин А.М. и др. Нелинейные эффекты в селективном отражении лазерного излучения от паров щелочного металла // *Тез. докл. 13-й Междунар. конф. по когерентной и нелинейной оптике*. Минск, 1984. Ч. 2. С. 13–14.
21. Розанов Н.Н. Оптическая бистабильность и гистерезис в распределенных нелинейных системах. М.: Наука, Физматлит, 1997. 336 с.
22. Соколов И.М., Фофанов Я.А. Дифференциальная регистрация поляризационно-модулированных оптических сигналов // *Научное приборостроение*. 2008. Здесь. С. 16–22.

*Институт аналитического приборостроения РАН,
Санкт-Петербург*

Материал поступил в редакцию 25.12.2007.

ON NONLINEAR EFFECTS UNDER THE CONDITIONS OF SELECTIVE TOTAL INTERNAL REFLECTION

Ya. A. Fofanov

Institute for Analytical Instrumentation RAS, Saint-Petersburg

Some nonlinear properties of spectra of selective reflection in inclined geometry have been investigated. The paper considers the asymmetry of resonant reflection saturation and describes new nonlinear structures on the reflective resonance apexes. The work was partially supported by RFBR (grant No 06-02-17219-a).