

НАБЛЮЛЕНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ЧЕРЕНКОВСКОГО ТИПА ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ ПИКОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСОВ СВЕТА В ПАРАХ НАТРИЯ

В.И.Вайчайтис, М.В.Игнатавичюс, В.А.Кудряшов, Ю.Н.Пименов

Сообщаются результаты исследований конического излучения в парах натрия, возбуждаемого лазерным излучением, длина волны которого перестраивалась в коротковолновой области $3S - 3P_{3/2}$ перехода ($\lambda_{\text{л}} = 589 \div 576$ нм). Полученные экспериментальные результаты позволяют интерпретировать наблюдаемое рассеяние в рамках модели черенковского излучения.

Исследования взаимодействия атомарной среды с распространяющимся в ней квазирезонансным лазерным излучением, частота которого $\omega_{\text{л}} \gtrsim \omega_{ab}$ (ω_{ab} – частота линии поглощения), выявили возникновение направленного вперед излучения с частотой $\omega_k \lesssim \omega_{ab}$ имеющего ярко выраженную коническую структуру¹⁻⁴. Для объяснения наблюдаемого явления предлагались различные теоретические модели, основанные на процессах четырехволнового смещения и рассеяния в условиях самофокусировки лазерного излучения²⁻⁴. Однако данные модели не дают удовлетворительного объяснения природы этого эффекта, поскольку в пространственно-частотном спектре рассеянного излучения отсутствует высокочастотная компонента, симметричная низкочастотной и неизбежная при процессе четырехволнового смещения. Соответствие модели четырехволнового смещения экспериментальным результатам обнаружено лишь при исследовании конического излучения, возникающего при резонансном возбуждении двухфотонно разрешенного перехода^{5,6}. В работе⁷ природа конического излучения, возникающего при околорезонансном возбуждении паров натрия, интерпретируется в рамках модели черенковского излучения с поверхности нити самофокусированного луча накачки. Возможность возникновения такого излучения теоретически обоснована еще в работе⁸. Нами проведены эксперименты, которые как качественно, так и количественно подтверждают черенковскую природу возникающего излучения рассеяния.

Мы наблюдали в парах натрия широкополосное коническое излучение рассеяния, индуцируемое лазерной накачкой, перестраиваемой в коротковолновой области $3S - 3P_{3/2}$ перехода (рис. 1). В качестве накачки использовалась вторая гармоника моноимпульсного пикосекундного параметрического генератора света, усиленная в красителе (родамин-6G). Энергия излучения накачки составляла $\sim 0,5$ мДж при длительности импульса 25 пс и спектральной ширине ~ 60 см⁻¹. Излучение накачки, фокусированное линзами с $f = 25 \div 150$ см (или без фокусировки), направлялось в кювету с парами натрия, плотность которых составляла $(1 \div 50) \cdot 10^{15}$ см⁻³. Плотность мощности в фокусе достигала 10 ГВт/см². Перестройка возбуждающего излучения осуществлялась в диапазоне 589 \div 576 нм, включающем в себя двухфотонный резонанс с переходом $3S - 4D$. Для сравнения укажем, что во всех предыдущих исследованиях среда возбуждалась импульсами наносекундной длительности ($\tau_{\text{л}} = 2 - 7$ нс, $I \sim 0,1 - 1$ МВт/см²) при перестройке возбуждающего излучения в пределах < 1 нм.

Анализ зависимости характеристик конического излучения от величины отстройки возбуждающего излучения $\Delta\omega_{\text{л}} = \omega_{\text{л}} - \omega_{3S - 3P_{3/2}}$, степени его фокусировки и концентрации паров натрия позволил установить: 1) Структура излучения рассеяния остается постоянной во всем диапазоне перестройки частоты накачки за исключением области двухфотонного резонанса с переходом $3S - 4D$ (рис. 1). Ширина спектра рассеянного излучения достигает ~ 780 см⁻¹, что значительно превышает ранее наблюдавшуюся ($\sim 5 - 10$ см⁻¹)¹⁻⁴. 2) Пространственно-частотное распределение конического излучения хорошо соответствует излучению черенковского типа (рис. 2), углы рассеяния которого определяются выраже-

$$\theta_{\text{ч}} = \arccos \frac{n_{\text{л}}}{n(\omega)} \left[1 + \frac{\omega_{\text{л}}}{n_{\text{л}}} \frac{dn}{d\omega} \Big|_{\omega = \omega_{\text{л}}} \right] \approx \sqrt{2[n(\omega) - n_{\text{л}}]} \Big|_{\theta_{\text{ч}} \ll 1}, \quad (1)$$

где $n(\omega)$ – показатель преломления. 3) Некоторое отклонение экспериментально зарегистрированных углов рассеяния от рассчитанных по (1) связывается нами с изменениями условий самофокусировки возбуждающего излучения (в соответствии с⁹) при изменении кон-

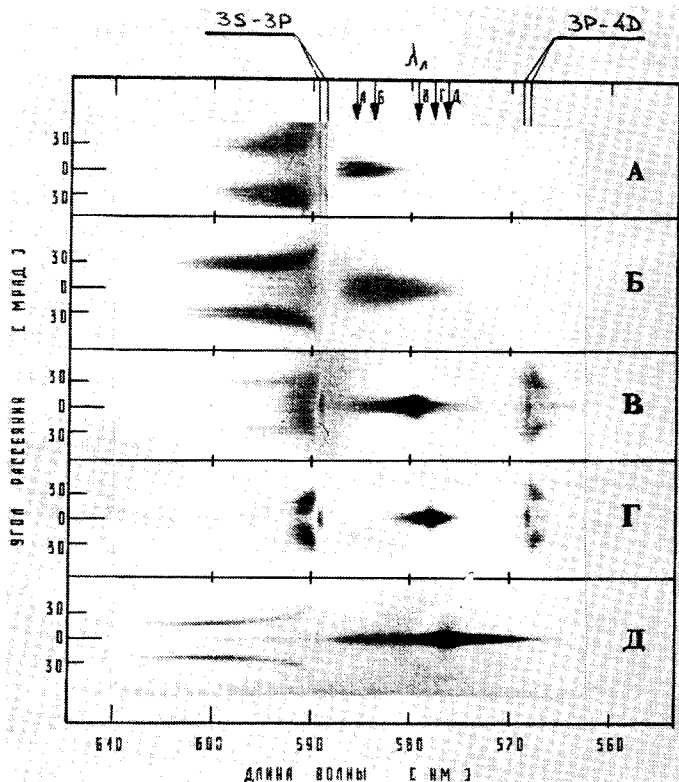


Рис. 1. Пространственно-частотные спектры излучения рассеяния при отстройке частоты на качки в высокочастотную область $3S - 3P_{3/2}$ перехода:
 $a - 95 \text{ см}^{-1}$, $б - 140 \text{ см}^{-1}$,
 $в - 260 \text{ см}^{-1}$, $г - 305 \text{ см}^{-1}$,
 $д - 360 \text{ см}^{-1}$ ($N = 1,4 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$)

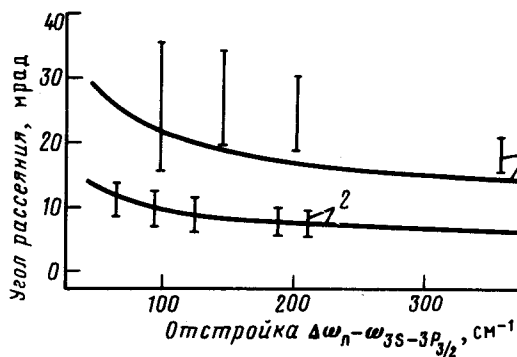


Рис. 2

Рис. 2. Зависимость половинного угла конуса черенковского излучения $\theta_{\text{ч}} = \sqrt{2(n_{\lambda=600} - n_{\text{л}})}$ на длине волны $\lambda = 600 \text{ нм}$ от отстройки возбуждающего излучения. Вертикальные полосы соответствуют экспериментально зарегистрированным углам рассеяния: 1 – $N = 1,4 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$, $f = 30 \text{ см}$; 2 – $N = 2,9 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$, $f = 100 \text{ см}$

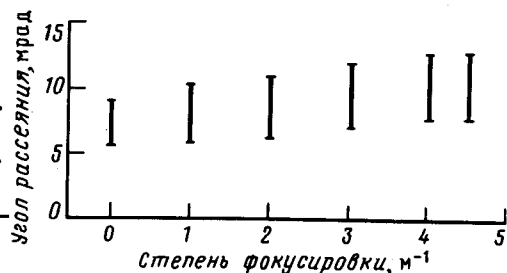


Рис. 3

Рис. 3. Зависимость экспериментально зарегистрированных углов рассеяния на длине волны $\lambda = 600 \text{ нм}$ от степени фокусировки возбуждающего излучения $\lambda_{\text{л}} = 582 \text{ нм}$ при $N = 3,1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$

центрации паров и степени фокусирования накачки. Фокусировка излучения накачки приводит к увеличению углов рассеяния (рис. 3). Увеличение концентрации паров уменьшает зависимость углов рассеяния от фокусировки. 4) С приближением частоты возбуждающего излучения к двухфотонному резонансу $3S - 4D$ природа конического излучения определяется двумя процессами, хорошо различимыми на спектрограмме (рис. 1, в): излучением черенковского типа $\omega_4 < \omega_{3S - 3P_{3/2}}$ и излучением четырехфотонного параметрического рассеяния при полном фазовом согласовании взаимодействующих волн $\omega_{\text{ЧПР}}^{(1)} < \omega_{3S - 3P_{3/2}}$ и $\omega_{\text{ЧПР}}^{(2)} > \omega_{3P_{3/2} - 4D}$, аналогичным исследованному в ^{5, 6}. 5) При точном двухфотонном резонансе $3S - 4D$ (рис. 1, г) наблюдается полное подавление излучения черенковского типа, а природа конического излучения определяется только процессом четырехфотонного параметрического рассеяния. Дальнейшее увеличение отстройки приводит к исчезновению излучения четырехфотонного параметрического рассеяния и вновь появлению широкополосного излучения черенковского типа (рис. 1, д). Последние обстоятельства интерпретируются нами как существенный довод для объяснения наблюдаемого рассеяния в рамках модели черенковского излучения. Исчезновение рассеяния черенковского типа при двухфотонном резонансе связано с устранением источника этого излучения вследствие резонансного двухфотонного поглощения накачки ¹⁰.

Таким образом, экспериментальные результаты, полученные при исследовании конического рассеяния в парах натрия с использованием пикосекундных импульсов света в качестве возбуждающего излучения, позволяют связать природу этого рассеяния с черенковским излучением, возникающим на поверхности нитей самофокусировки луча лазерной накачки.

Литература

1. Бонч-Бруевич А.М., Ходовой В.А., Хромов В.В. Письма в ЖЭТФ, 1970, 11, 431.
2. Skinner C.H., Kleiber P.D. Phys. Rev., 1980, 21A, 151.
3. Harter D.J., Boyd R.W. Optics Letters, 1982, 7, 491; Phys. Rev., 1984, 29A, 739.
4. Плеханов А.И., Раутман С.Г., Сафонов В.П., Черноброд Б.М., ЖЭТФ, 1985, 88, 426.
5. Вайчайтис В.И., Игнатавичюс М.В., Кудряшов В.А., Пименов Ю.Н., Устинов Н.Д. Письма в ЖЭТФ, 1985, 41, 66.
6. Krasinski J., Gauthier D.J., Malcuit M.S., Boyd R.W. Optics Comm., 1985, 54, 241.
7. Golub I., Erez G., Shuker R. Journal of Physics, 1986, 19B, L115.
8. Аскарьян Г.А. ЖЭТФ, 1962, 42, 1360.
9. Луговой В.Н., Прохоров А.М. ЖЭТФ, 1975, 69, 84.
10. Луговой В.Н., Прохоров А.М. УФН, 1973, 111, 203.

Поступила в редакцию
19 февраля 1987 г.