

## НАБЛЮДЕНИЕ КООПЕРАТИВНОГО ЭФФЕКТА В КОМБИНАЦИОННОМ РАССЕЙАНИИ

*В.С.Пивцов, С.Г.Раутиан, В.П.Сафонов,  
К.Г.Фолин, Б.М.Черноброд*

Сообщается о первом наблюдении кооперативного эффекта в рассеянии света. Обнаружена значительная задержка импульсов комбинационного рассеяния в водороде относительно максимума возбуждающего импульса с крутым передним фронтом и временная структура импульса рассеяния

Кооперативное испускание, предсказанное Дике [1], неоднократно наблюдалось в последние годы [2, 3]. Аналогичное явление, согласно [4, 5], должно существовать и для рассеяния, однако кооперативное рассеяние света, насколько нам известно, до сих пор не было обнаружено. Межмолекулярная корреляция в процессе излучения или рассеяния может возникнуть при возбуждении среды за времена короче релаксационных. В такой ситуации поляризация среды на частоте рассеянного излучения "отстает" от поля возбуждающего импульса на время установления корреляции между рассеивающими частицами, т.е. должна существовать задержка между фронтами возбуждающего и рассеянного импульсов. В протяженной среде эффекты распространения при-

водят к тому, что рассеянное излучение имеет временную субструктуру [6].

Для кооперативного комбинационного рассеяния (ККР) на стоксовой частоте величины времени задержки  $t_0$  и характерная длительность пульсаций  $\tau$  по порядку величины даются выражениями [6]:

$$t_0 = \frac{\tau}{4} \ln \frac{\pi}{2\theta_0}, \quad \tau = 2(\rho z)^{-1} \ln \frac{\pi}{2\theta_0} \quad (1)$$

$$\rho = \frac{8\pi^2 \left( \frac{d\sigma}{d\Omega} \right) P n_0}{\hbar k_e k_s^2 c}, \quad \theta_0 = (\lambda_s^2 n_0 z)^{-1/2}, \quad k_{e,s} = \frac{2\pi}{\lambda_{e,s}}$$

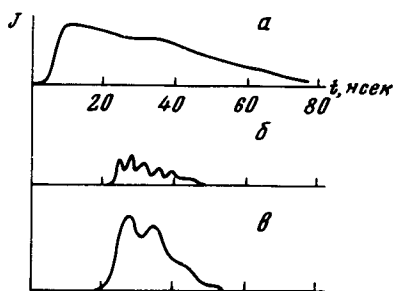
$\lambda_{e,s}$  — длины волн возбуждающего и стоксова излучения,  $P$  — плотность мощности возбуждающего импульса,  $n_0$  — плотность молекул,  $z$  — длина рассеивающего объема,  $d\sigma/d\Omega$  — дифференциальное сечение спонтанного комбинационного рассеяния. Из (1) следует, что длительность импульса и задержка ККР обратно пропорциональны произведению плотности молекул на интенсивность накачки и на длину среды.

В наших экспериментах исследовалась  $Q_{01}$  (1) линия комбинационного рассеяния в  $H_2$ ,  $\Delta\omega = 4155,2 \text{ см}^{-1}$ . При комнатной температуре время релаксаций  $H_2$  составляет  $10^{-3} \text{ сек} \cdot \text{атм}$  для колебаний [7], для вращения —  $2 \cdot 10^{-8} \text{ сек} \cdot \text{атм}$  [8], для поляризации —  $T_2 = 7,5 \cdot 10^{-9} \text{ сек} \cdot \text{атм}$  [9]. Дефазировка из-за движения молекул ( $T_2^* = 2/|k_e - k_s| \bar{v}$ ,  $\bar{v}$  — скорость молекулы) в водороде эффективно подавляется за счет эффекта Дике [10]. Подставляя в (1) численные значения для  $H_2$  в условиях эксперимента:  $\lambda_e = 694,3 \text{ нм}$ ,  $\lambda_s = 976 \text{ нм}$ ,  $d\sigma/d\Omega = 2,4 \cdot 10^{-31} \frac{\text{см}^2}{\text{мол} \cdot \text{стерад}}$  [11],  $n_0 = 7,2 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ ,  $z \approx 10 \text{ см}$  для  $P \approx \text{ГВт/см}^2$  получаем  $\tau \approx 1,5 \text{ нсек}$ ,  $t_0 \approx 1,5 \text{ нсек}$ . Таким образом, оценки показывают, что  $H_2$  может служить удачным объектом для исследования кооперативного рассеяния.

Источником возбуждающего излучения служил рубиновый лазер. Лазер работал на одной продольной моде, ширина спектра генерации  $10^{-3} \text{ см}^{-1}$ . Передний фронт лазерного импульса укорачивался с помощью электрооптического затвора до  $2 + 3 \text{ нсек}$  (рис. а). Энергия возбуждающего импульса была  $W = 0,2 + 0,5 \text{ Дж}$ , длительность  $50 \text{ нсек}$ . Излучение лазера фокусировалось линзой  $f = 50 \text{ см}$  в кювету с водородом длиной  $30 \text{ см}$ . Распределение интенсивности в фокусе состояло из 3 пятен диаметром  $0,2 \text{ мм}$  и диффузного ореола. Окна кюветы были наклонены под углом  $5^\circ$ . Импульсы стоксова  $\omega_s$  (или антистоксова  $\omega_a$ ) рассеяния и падающего (или прошедшего через кювету) излучения лазера  $\omega_e$  одновременно регистрировались с помощью коаксиальных фотозащитных элементов и осциллографов И2-7. Наблюдения проводились в направлении распространения возбуждающего импульса.

Основной результат экспериментов заключается в обнаружении значительной задержки импульсов стоксова и антистоксова КР относительно максимума возбуждающего импульса. При  $p = 2,7 \text{ атм}$  и  $W = 0,35 \text{ Дж}$  величина задержки наиболее часто составляет  $17 \pm 5 \text{ нсек}$ . Задержка

уменьшается при увеличении мощности накачки и давления приблизительно обратно пропорционально произведению  $pP$ . При уменьшении крутизны переднего фронта лазерного импульса максимумы импульсов  $\omega_e$  и  $\omega_s$  сближаются; при  $t_{\text{фр}} = 15$  нсек они совпадают ( $p = 5$  атм).



Осциллограммы импульсов возбуждающего излучения (а), антистоксова (б) и стоксова (в) кооперативного комбинационного рассеяния. Осциллограммы (б) и (в) получены в разных вспышках

Распределение интенсивности ККР по сечению было неоднородным. Антистоксово рассеяние, возникающее в результате четырехфотонного параметрического процесса [12], наблюдалось под некоторым углом к направлению накачки. В фокусе линзы  $f = 27$  см после кюветы излучение  $\omega_a$  собиралось в несколько пятен диаметром около 1 мм. Наблюдаемый диаметр пятна соответствует дифракционной расходимости при диаметре активной зоны  $d \approx 0,2$  мм —  $\lambda f / d \approx 0,7$  мм. Число и положение пятен флуктуирует от вспышки к вспышке. В случае наблюдения импульсов ККР со всего торца кюветы импульсы имели, как правило, гладкую огибающую с длительностью 10 — 15 нсек при  $p = 2,7$  атм  $W = 0,35$  Дж. С ростом плотности газа либо мощности лазера длительность импульсов увеличивается. При выделении одной — двух дифракционных мод в излучении активного объема путем помещения в фокусе линзы  $f = 27$  см диафрагмы  $\varnothing 0,9$  мм импульсы  $\omega_s$  и  $\omega_a$  обнаруживают временную структуру с периодом от 2 до 5 нсек (рис. б, в). В прошедшем через кювету излучении лазера структура при этом не наблюдается. Характер временной структуры, величина  $t_0$  и мощность ККР подвержены заметным флуктуациям. В некоторых вспышках наблюдались слабые импульсы КР с задержками до 30 нсек.

Наблюдаемые явления — существование задержки, порядок величины задержки, зависимость  $t_0$  от  $Pp$ , существование временной структуры — находятся в качественном согласии с предсказаниями теории кооперативного комбинационного рассеяния [5, 6].

Институт автоматики  
и электротметрии  
Академии наук СССР  
Сибирское отделение

Поступила в редакцию  
7 августа 1979 г.

### Литература

- [1] R.H.Dicke. Phys. Rev., 93, 99, 1954.
- [2] J.C.Mac'Grillivray, M.S.Feld. Phys. Rev., A 14, 1169, 1976.
- [3] M.Gross, C.Fabre, P.Pillet, S.Haroche. Phys. Rev. Lett., 36, 1035, 1976.

- [4] Т.М.Махвиладзе, М.Е.Сарычев, Л.А.Шелепин. ЖЭТФ, 69, 499, 1975.
- [5] С.Г.Раутиан, Б.М.Черноброд. ЖЭТФ, 72, 1342, 1977.
- [6] Б.М.Черноброд. Препринт №97 Института автоматки и электрометрии СО АН СССР, 1979; Optics Comm. (в печати).
- [7] F.De Martini, J.Ducuing. Phys. Rev. Lett., 17, 117, 1966.
- [8] Л.В.Лесков, Ф.А.Савин. УФН, 72, 741, 1960.
- [9] F.Capasso, F.De Martini. Optics Comm., 9, 172, 1973.
- [10] J.R.Murray, A.Javan. J. of Molec. Spectrosc., 42, 1, 1972.
- [11] W.R.Fenner, H.A.Hyatt, J.M.Kellam. SPS Porto JOSA, 63.
- [12] Н.Бломберген. Нелинейная оптика. М., изд. Мир, 1966.
-