

Рис. 2. Спектры света вынужденного рассеяния крыла линии Релея. *a* — линия излучения лазера ( $\lambda = 6943$ ); *b* — ВРК в *o*-ксилоле при  $20^\circ \text{C}$ ; *в*, *г*, *д*, — ВРК в нитробензоле при температурах 20, 65,  $120^\circ \text{C}$  соответственно, *е* — спектр ВРМБ (*M*) и усиленная мода излучения рубинового лазера (*m*). Для рис. *a* — *д* область дисперсии интерферометра Фабри — Перо  $5 \text{ см}^{-1}$ , для рис. *е* — область дисперсии  $1 \text{ см}^{-1}$

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫНУЖДЕННОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА В КРЫЛЕ ЛИНИИ РЕЛЕЯ

*Г.И.Зайцев, Ю.И.Кызыласов, В.С.Старунов, И.Л.Фабелинский*

Мощный световой поток гигантского импульса рубинового лазера при распространении через среду, состоящую из анизотропных молекул, вызывает явление вынужденного рассеяния света в крыле линии Релея (ВРК) [1].

Теория [2], развитая для плоских волн, показывает, что если стоксовая и антистоксовая компоненты рассеянного света не взаимодействуют, то при ВРК антистоксовая компонента затухает, а стоксовая компонента при превышении порога, указанного в [1,2], возрастает по экспоненте с коэффициентом усиления [2]

$$g = -2K_{\omega} + A |K_1| |E_0|^2 \frac{\Omega \tau}{1 + \Omega^2 \tau^2}, \quad (1)$$

где  $A = \epsilon_2 / 2\epsilon_0$  – постоянная для данного вещества [2],  $K_1$  – волновой вектор рассеянного света,  $\tau$  – эффективное время релаксации анизотропии [3],  $\Omega$  – частота, отсчитываемая от частоты возбуждающего света,  $2K_{\omega}$  – коэффициент поглощения света. Из приведенной формулы или выражения для порога [1] следует, что при ВРК максимум коэффициента усиления стоксового крыла линии Релея будет на частоте  $(\omega_1)_{\max} = \omega_0 - 1/\tau$ , где  $\omega_0$  – частота возбуждающего света.

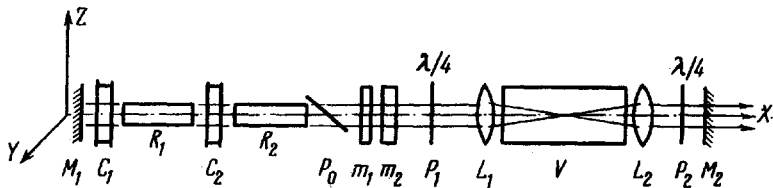


Рис.1. Схема установки.  $M_1, M_2$  – зеркала,  $R \sim 100\%$  и  $R \sim 50\%$  соответственно;  $R_1, R_2$  – рубины;  $C_1, C_2$  – кюветы с насыщающим фильтром;  $P_0$  – стеклянная пластинка, расположенная под углом Брюстера;  $m_1, m_2$  – сепаратор мод;  $P_1, P_2$  – пластинки  $\lambda/4$ ;  $L_1, L_2$  – линзы;  $V$  – сосуд с изучаемой жидкостью

При малых углах рассеяния лазерное излучение, стоксовая и антистоксовая компоненты рассеянного света могут взаимодействовать (четырёхфотонное взаимодействие) таким образом, что при определенном оптимальном угле будут усиливаться как стоксовая, так и антистоксовая компоненты крыла, причем максимум коэффициента усиления в этом случае будет при  $\Omega = 0$  [2,4].

В этой работе мы впервые наблюдали явление ВРК в бензальдегиде, о-ксилоле, хинолине, нитротолуоле и ацетофеноне. Исследование ВРК в некоторых из этих жидкостей, а также в нитробензоле [1] проводилось при разных температурах и различных условиях распространения света в рассеивающей среде и в рубиновом лазере.

Схема нашей установки представлена на рис.1. Мощность рубинового лазера составляла  $\sim 100$  Мвт, длительность импульса  $10 \div 15$  нсек. Свет импульса рубинового лазера фокусировался линзой ( $f = 5 \div 18$  см) внутрь сосуда с рассеивающей жидкостью.

Компоненты последовательного вынужденного рассеяния Мандельштама-Бриллэна (ВРМБ) мешают наблюдению спектра ВРК, поэтому были приняты специальные меры к их подавлению. Пластика  $P_1$  ( $\lambda/4$ ), поляризатор или стеклянная пластинка под углом Брюстера  $P_0$  позволяли ослабить процесс последовательного рассеяния (свет, рассеянный назад). Несмотря на эти меры, две компоненты ВРМБ оставались в спектре рассеянного света большинства жидкостей. По-видимому, в значительной мере причиной появления второй\* компоненты ВРМБ следует считать повторное рассеяние в области нелинейного взаимодействия световых волн с волнами гиперзвука. При повторном рассеянии световая волна, рассеянная назад и смещенная по частоте на  $\Omega_M$ , не выходя из области взаимодействия, вызывает новую световую волну с частотой, измененной на  $2\Omega_M$  и распространяющуюся в направлении первоначального возбуждающего света. Осуществление такого механизма рассеяния было подтверждено нашими опытами, в которых рассеивающий объем был удален от лазера на 30 м, так что последовательное рассеяние с усилением каждой последующей компоненты в лазере было невозможно, и тем не менее наблюдалось две компоненты ВРМБ.

Для усиления в лазере света ВРК, рассеянного вперед, в схеме (рис.1) помещались в дополнение к  $P_0$  и  $P_1$ , пластинка  $P_2$  ( $\lambda/4$ ) и зеркало  $M_2$ . Спектры ВРК одной и той же жидкости существенно не различались между собой при использовании всех элементов схемы рис.1 или когда из схемы удалялись  $P_2$  и  $M_2$  или  $P_0$ ,  $P_1$ ,  $P_2$  и  $M_2$ . В описанных условиях опыта мы не наблюдали антистоксовой части крыла и, следовательно, не наблюдали четырехфотонного взаимодействия в крыле в области частот  $\Delta\nu > 0,1 \text{ см}^{-1}$  (при  $f > 5 \text{ см}^{-1}$ ) \*\*.

У всех изученных жидкостей наблюдалось интенсивное стоксовое ВРК (рис.2, см.вклейку). Область, занимаемая спектром ВРК, плавно увеличивается с увеличением температуры. Так, в нитробензоле при повышении температуры от 20 до 120°C область, занимаемая крылом, увеличивалась от 1,2 до 3  $\text{см}^{-1}$ , в бензальдегиде в интервале 20±100°C эта область изменялась от 1 до 2,2  $\text{см}^{-1}$ . Такой характер изменения ширины спектра ВРК представляется естественным, поскольку при увеличении температуры  $\tau$  уменьшается и, согласно (1), максимум коэффициента усиления будет смещаться в стоксовую сторону от возбуждающей линии. Из всех исследованных в этой работе жидкостей лишь в нитробензоле наблюдался размытый максимум, отстоящий при комнатной температуре на расстоянии  $\sim 0,5 \text{ см}^{-1}$  от несмещенной линии. В остальных жидкостях если максимум и существует, то он маскируется всегда присутствующими компонентами ВРМБ. Возможно также, что отсутствие четкого максимума в ВРК объясняется тем, что когда коэффициент усиления  $g$  достаточно велик, чтобы наблюдалось ВРК при данной чувствительности установки, поле  $E_0$  оказывается таким большим, что не выполняется условие применимости теории [1,2] ( $(\alpha_1 - \alpha_2/KT)|E_0|^2 \ll 1$ ,  $\alpha_1$  и  $\alpha_2 = \alpha_3$  - главные поляризуемости молекулы).

Постепенное ослабление потока возбуждающего света лазера приводит к быстрому падению интенсивности ВРК и, наконец, к его исчезновению. Иногда (о-ксилол) при ослаблении возбуждающего света на мес-

те стоксового крыла появляется несколько компонент Манделъштама-Бриллюэна, и, следовательно, во всяком случае, для некоторых жидкостей при возникновении ВРК происходит подавление явления ВРМБ.

На спектрограммах рассеянного света раньше\*\*\* [1,5] и в этой работе наблюдалась узкая и достаточно интенсивная линия, которую мы не могли отнести ни к ВРМБ ни к ВРК (рис.2,е). В спектре возбуждающего света этой линии не наблюдалось. Ее расстояние от несмещенной линии  $-0,09 \pm 0,13 \text{ см}^{-1}$  при комнатной температуре и слабо увеличивается при возрастании температуры. Интенсивность этой линии так велика, что она иногда вызывала компоненту ВРМБ. При ослаблении возбуждающего светового потока до величины, при которой широкий участок спектра ВРК исчезал, эта резкая линия продолжала оставаться. Далее было установлено, что эта линия является слабой модой излучения лазера\*\*\*\*, которая усиливается в среде с анизотропными молекулами, причем механизм усиления здесь практически тот же, что и при ВРК. По видимому, аналогичный эффект недавно наблюдали Чо, Фольтц, Рэнк и Виггинс [6], которые приняли его за ВРК. Наблюдавшаяся ими температурная зависимость положения этой линии возможно объясняется зависимостью от температуры коэффициента усиления и механизмом, аналогичным указанному Бревером [7] для ВРМБ.

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

Поступило в редакцию  
3 мая 1967 г.

### Литература

- [1] Д.И.Маш, В.В.Морозов, В.С.Старунов, И.Л.Фабелинский. Письма ЖЭТФ, 2, 41, 1965.
- [2] В.С.Старунов. Исследование спектра теплового и вынужденного молекулярного рассеяния света. Диссертация, ФИАН, М., 1965; Тр. ФИАН (в печати), 1967; ДАН СССР (в печати).
- [3] И.Л.Фабелинский. Молекулярное рассеяние света. Изд-во "Наука", М., 1965.
- [4] R.Сhao, P.Kelly, E.Garnire. Phys. Rev. Lett., 17, 1158, 1966.
- [5] Д.И.Маш, В.В.Морозов, В.С.Старунов, Е.В.Тиганов, И.Л.Фабелинский. Письма ЖЭТФ, 2, 246, 1965.
- [6] C.W.Cho, N.D.Foltz, D.H.Rank, T.R.Wiggins. Phys. Rev. Lett., 18, 107, 1967.
- [7] R.G.Brewer. Appl. Phys. Lett., 9, 51, 1966.

---

\* Первая компонента ВРМБ может появляться в спектре рассеянного света из-за отражения от окошек сосуда, торцов рубина и т.д.

\*\* В нитробензоле и о-ксилоле при фокусировании лазерного излучения линзами с  $f = 2,5 \text{ см}$  в нескольких порядках интерферограммы мы наблюдали и стоксову и антистоксову части крыла, а в остальных порядках лишь стоксовое крыло. Мы полагаем, что в этом случае наблюдалось четырехфотонное взаимодействие при ВРК при углах  $\theta < 2^\circ$ .

\*\*\* Эту линию можно видеть на рис. 1 работы [5] между возбуждающей линией и компонентой ВРМБ.

\*\*\*\* При изменении расстояния между поверхностями резонаторов лазера в 1,5 раза во столько же раз изменялось расстояние между этой линией и основной модой излучения.