

СПЕКТРАЛЬНЫЕ И ВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЫНУЖДЕННОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА КРЫЛА ЛИНИИ РЕЛЕЯ ВО ВНЕШНЕМ ПОПЕРЕЧНОМ РЕЗОНАТОРЕ

О. П. Заскалько, В. С. Старунов

При вынужденном рассеянии света крыла линии Релея (ВРК) во внешнем поперечном резонаторе обнаружены и изучены аномально большие спектральные смещения и уширения линии ВРК и периодическая временная структура излучения ВРК. Эта временная структура объясняется синхронизацией мод излучения ВРК в резонаторе вследствие квадратичного эффекта Керра.

Явление вынужденного рассеяния света (ВРК) было обнаружено в [1] и неоднократно изучалось в различных условиях опыта (например, [1 – 6]), в том числе во внешнем поперечном резонаторе [8, 9]. Это явление возникает вследствие ориентации анизотропных молекул жидкости (квадратичный эффект Керра) в суммарном поле двух волн: рассеянной (первоначально слабой) на флуктуациях анизотропии и волны накачки. Из линеаризованной теории следует [5 – 7], что интенсивность рассеянного света должна экспоненциально возрастать с ростом интенсивности накачки и области нелинейного взаимодействия с инкрементом

$$g = 2A \frac{\pi \omega_s K}{c n^2} \frac{\Omega \tau}{1 + \Omega^2 \tau^2} \quad ; \quad K = \frac{1}{15} \frac{N(a_{\parallel} - a_{\perp})^2}{k_B T} \quad (1)$$

В (1) $\Omega = \omega_L - \omega_S$, ω_L , ω_S – частоты накачки и рассеянного света, τ – время релаксации анизотропии, N – число молекул в 1 см^3 , a_{\parallel} , a_{\perp} – главные поляризуемости молекулы, c – скорость света, n – показатель преломления, A – величина порядка единицы. Из (1) следует, что излучение ВРК должно иметь максимум на частоте $\Omega = 1/\tau$. Таким образом, ВРК дает метод измерения времени релаксации анизотропии по смещению линии вынужденного рассеяния света. Удобной методикой таких измерений представляется возбуждение ВРК во внешнем поперечном резонаторе, что было подтверждено опытами [9] для нескольких жидкостей с не очень малым значением τ ($\frac{1}{2} \pi c \tau < 0,3 \text{ см}^{-1}$). Однако, в недавней работе [10] было обнаружено, что в таких же условиях опыта в сероуглероде и других средах с малым значением τ ($\frac{1}{2} \pi c \tau > 0,6 \text{ см}^{-1}$) линия ВРК смещена существенно больше, чем можно было ожидать из (1) и данных о величине τ . В этой работе получены новые данные о спектре ВРК во внешнем поперечном резонаторе и найдены условия, при которых смещение линии ВРК дает правильное значение τ и для случая, когда τ мало. В условиях опыта, когда плотность излучения ВРК в резонаторе была достаточно велика, обнаружена периодическая временная структура в его излучении.

Экспериментальная установка такая же, как описана в [9, 10]. Сосуд с сероуглеродом помещался внутри резонатора, образованного сферическими зеркалами; одно из них имело коэффициент отражения 100%, другое — 80% или 8%. Импульс рубинового лазера мощностью $\sim 50 - 150 \text{ Мвт}$ и длительностью $\sim 20 \text{ нсек}$ фокусировался в исследуемую жидкость с помощью цилиндрической линзы (фокусное расстояние 6 см), образующая которой направлена вдоль оси резонатора. Свет накачки был поляризован в плоскости рассеяния, так что вынужденное рассеяние Манделъштама — Бриллюэна вдоль оси резонатора светом накачки не возбуждалось. Для анализа спектра рассеянного света использовался дифракционный спектрограф с линейной дисперсией $3,6 \text{ см}^{-1}/\text{мм}$. Временной характер излучения анализировался с помощью коаксиальных фотоэлементов ФЭК-09 или ФЭК-15 и осциллографа И2-7.

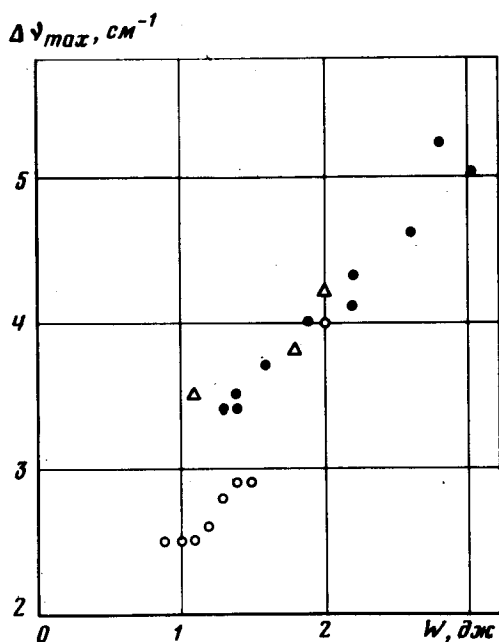


Рис. 1. Зависимость положения и максимума линии ВРК $\Delta\nu_{max}$ от энергии накачки W : ● — коэффициенты отражения зеркал $R_1 \sim 100\%$, $R_2 \sim 80\%$, область нелинейного взаимодействия $l_{ne} \approx 3 \text{ см}$, оптическая длина резонатора $L = 30 \text{ см}$; ○ — $R_1 \sim 100\%$, $R_2 \sim 80\%$, $l_{ne} = 18 \text{ см}$, $L = 30 \text{ см}$; △ — $R_1 \sim 100\%$, $R_2 \sim 80\%$, $l_{ne} = 18 \text{ см}$, $L = 30 \text{ см}$

В том случае, когда резонатор образовывался зеркалами с коэффициентами отражения 100 и 80% и оптическая длина резонатора была $L = 30 \text{ см}$, линия ВРК была смещена всегда больше, чем это ожидалось из (1) и данных о времени релаксации анизотропии. Вместо ожидаемого смещения $2,3 - 2,5 \text{ см}^{-1}$ у порога генерации наблюдалось смещение $\sim 3,5 \text{ см}^{-1}$ и это смещение возрастало с ростом энергии накачки независимо от длины области нелинейного взаимодействия (см. рис.1). С ростом энергии накачки изменялся и спектр линии ВРК (см. рис.2, А и В); если у порога генерации линия была достаточно узкой и симметричной (рис. 2, А), то с ростом энергии накачки она становилась асимметричной (рис. 2, В) с резким краем с антистоксовой стороны и широким крылом (до 150 см^{-1}) со стоксовой стороны. Хотя временная развертка излучения накачки имела гладкую ко-

локолообразную форму (см. рис. 3, *a*), излучение ВРК содержало периодическую временную структуру (рис. 3, *в*) с периодом $T = 2L/c = 2 \text{ нсек}$. В том случае, если оптическая длина резонатора увеличивалась до 60 см, временной период увеличивался также до 4 нсек (рис. 3, *с* и 3, *д*). Видимая глубина модуляции составляла $\sim 50\%$, но с учетом временного разрешения нашей установки, в действительности она должна быть не менее 70 – 80%.

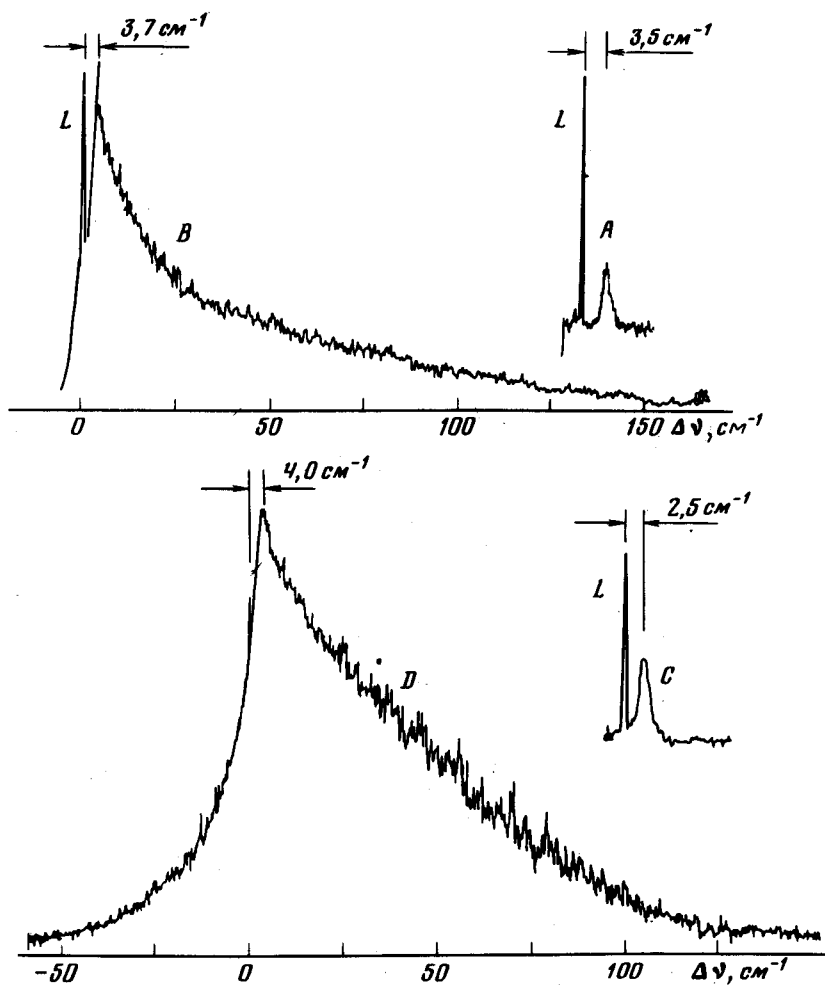


Рис. 2. Микрофотограммы спектра ВРК при различных условиях опыта: L — линия излучения лазера, A, B — $R_1 \sim 100\%$, $R_2 \sim 80\%$, $l_{ne} = 18 \text{ см}$, $L = 30 \text{ см}$; C, D — $R_1 \sim 100\%$, $R_2 \sim 8\%$, $l_{ne} = 18 \text{ см}$, $L = 30 \text{ см}$

В том случае, если резонатор был образован зеркалами с коэффициентами отражения 100 и 8% у порога генерации и при повышении пороговой интенсивности накачки до 30% наблюдалось ожидаемое из теории смещение линии ВРК $\sim 2,5 \text{ см}^{-1}$, но при дальнейшем повышении энергии накачки смещение максимума начинало возрастать (рис. 1). С ростом энергии накачки линия ВРК сильно уширяется в стоксовую

сторону (рис. 2, *C* и 2, *D*), а также, хотя и не столь сильно, в антистоксовую. Осциллограмма излучения ВРК в этих условиях опыта имело гладкую форму, похожую на форму импульса накачки (рис. 3, *a*). В том случае, когда одно из зеркал резонатора вообще отсутствовало, ВРК при нашей мощности накачки возбудить не удавалось. Таким образом показано, что возбудить вынужденное рассеяние и получить из смещения линии ВРК правильное значение времени релаксации τ для жидкостей с малым значением τ возможно, используя резонатор, в котором одно из зеркал имеет малый коэффициент отражения. Если резонатор образован зеркалами с большим коэффициентом отражения, то вследствие большой интенсивности ВРК могут возникать повторное рассеяние и особенности во временной структуре, искажающие спектр.

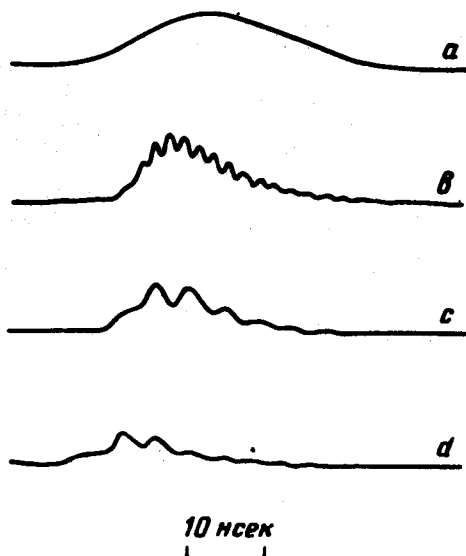


Рис. 3. Осциллограмма излучения накачки (*a*) и излучения ВРК при оптической длине резонатора $L = 30$ см (*b*) и при $L = 60$ см (*c, d*) (*a, b* — получены с использованием фотоэлемента ФЭК-15; *c, d* — ФЭК-09)

Здесь впервые наблюдалась периодическая временная структура излучения ВРК в резонаторе, которая, по нашему мнению, вызывается синхронизацией мод этого излучения в резонаторе вследствие квадратичного по полю эффекта Керра. Экспериментальные основания для этого вывода следующие: период модуляции равен двойному времени прохода оптической длины резонатора; большая глубина модуляции (не менее 70 — 80%); повторяемость временной картины излучения в нескольких десятках опытов; наличие временной структуры лишь при условии $1/\tau \gg \Omega_m$ где Ω_m — межмодовое расстояние; увеличение времени до появления первого максимума во временной структуре при уменьшении плотности излучения ВРК в резонаторе.

Анализ нелинейного уравнения Максвелла совместно с релаксационным уравнением для керрвской восприимчивости показал, что моды излучения ВРК в резонаторе при достаточно большой его интенсивности будут устойчиво синхронизованы. При этом на выходе резонатора должны наблюдаться импульсы излучения длительности $\sim \tau$.

Жидкости, состоящие из анизотропных молекул, раньше использовались для синхронизации мод многомодового твердотельного лазера [11, 12].

Оптимальные условия синхронизации для такой схемы опыта будут, если полоса усиления активного элемента $\Delta \nu_L \approx 1/\tau$. В условиях нашего опыта полоса усиления всегда $1/\tau$. Поскольку, кроме того, активный и фазирующий элементы совпадают, активный элемент (жидкость) однороден, то также улучшаются условия для синхронизации. Наконец, меняя жидкость или ее вязкость, можно в широких пределах менять время релаксации τ [5] и, тем самым, длительность импульсов излучения ВРК (от 10^{-10} сек до 10^{-12} сек).

В заключение авторы выражают благодарность И.Л.Фабелинскому за интерес к работе и обсуждение полученных результатов.

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

Поступила в редакцию
23 июня 1977 г.

Литература

- [1] Д.И.Маш, В.В.Морозов, В.С.Старунов, И.Л.Фабелинский
Письма в ЖЭТФ, 1, 41, 1965.
- [2] Г.И.Зайцев, Ю.И.Кызыласов, В.С.Старунов, И.Л.Фабелинский,
Письма в ЖЭТФ, 6, 505, 1967 ;6, 695, 1967.
- [3] D.H.Rank, C.W.Cho, N.D.Foltz, T.A.Wiggins . Phys. Rev. Lett.,
19, 818, 1967.
- [4] C.W.Cho, N.D.Foltz, D.H.Rank, T.A.Wiggins. Phys. Rev. Lett.,
18, 107, 1967.
- [5] В.С.Старунов. Труды ФИ АН СССР, 39, 151, 1967.
- [6] R.H.Nerman. Phys. Rev., 164, 200, 1967.
- [7] R.Y.Chiao, I.Godine. Phys. Rev., 183, 430, 1969.
- [8] Ю.И.Кызыласов, В.С.Старунов, И.Л.Фабелинский. Письма в ЖЭТФ,
9, 383, 1964.
- [9] Д.В.Власов, И.Л.Фабелинский. Письма в ЖЭТФ, 17, 476, 1974.
- [10] В.Н.Бирюков, В.С.Старунов. Кр. сообщ. по физике. №11, 31, 1976.
- [11] I.P.Laussade, A.Yariv. Appl. Phys. Lett., 13, 65, 1968.
- [12] I.Comly, E. Garmire, I.P.Laussade, A.Yariv. Appl. Phys. Lett.,
13, 176, 1968