

ВЫНУЖДЕННОЕ РАССЕЯНИЕ СВЕТА КРЫЛА ЛИНИИ РЕЛЕЯ

Д.И.Мам, В.В.Морозов, В.С.Старунов,
И.Л.Фабелинский

В поле световой волны гигантского импульса рубинового лазера вследствие нелинейного взаимодействия света и среды возникает явление, которое получило название вынужденного рассеяния света. Ранее было обнаружено вынужденное комбинационное рассеяние света [1] и вынужденное рассеяние Манделъштама - Бриллиена [2]. В этой заметке сообщается об обнаружении нового явления - вынужденного рассеяния света крыла линии Релея.

В спектре теплового рассеяния света в жидкостях, состоящих из анизотропных молекул, наблюдается более или менее широкий участок сплошного спектра, максимум интенсивности которого приходится на возбуждающую линию и спадает по обе стороны от нее, простираясь иногда на $100-150 \text{ см}^{-1}$ [3].

В тепловом рассеянии света крыло линии Релея обусловлено модуляцией рассеянного света в результате рассасывающихся во времени флуктуаций ориентаций анизотропных молекул. При этом слабое поле возбуждающей световой волны (обычный источник света) оказывает столь ничтожное воздействие на анизотропию среды, что с ним не следует считаться. Иначе обстоит дело, когда рассеяние возбуждается

фокусированным светом гигантского импульса оптического квантового генератора. В этом случае напряженность электрического поля световой волны так велика, что она вместе с полем теплового рассеяния приводит к возникновению значительной силы [4] I): $f \sim (\alpha_1 - \alpha_2) E^2 \tau k T$ ($\alpha_1, \alpha_2 = \alpha_3$ - главные поляризуемости молекулы, τ - время релаксации анизотропии, k - постоянная Больцмана и T - абсолютная температура, а E - сумма полей возбуждающего и рассеянного света), низкочастотная составляющая которой вызывает анизотропию среды вследствие ориентации анизотропных молекул.

Для классического решения задачи о вынужденном рассеянии света крыла линии Релея нужно совместно решить нелинейные уравнения Максвелла и нелинейные уравнения для тензора анизотропии среды [4]. Полагая при этом, что нелинейные члены малы по сравнению с линейными, пользуясь методом малого параметра и укороченных уравнений [3,5], можно найти следующее выражение для порога стоксовой части вынужденного крыла линии Релея (антистоксова компонента в рассматриваемом приближении не возникает):

$$\frac{E^2}{8\pi} \gg \frac{45 n k_w k T}{16\pi |k_x| \frac{\partial \epsilon}{\partial s} \frac{I(\Omega)}{I(0)} \Omega \tau (\alpha_1 - \alpha_2)} \quad (1)$$

Здесь n - показатель преломления среды, k_w - суммарный коэффициент, характеризующий оптические потери, k_x - волновое число стоксовой компоненты крыла, s - тензор анизотропии, Ω - частота, отсчитываемая от максимума крыла, ϵ - диэлектрическая проницаемость.

$I(\Omega)/I(0)$ - отношение интенсивности на частоте Ω к интенсивности в максимуме крыла линии Релея, вызванного флуктуациями (тепловое рассеяние). Величина $\Omega \tau (I(\Omega)/I(0))$ имеет максимум. Действительно, если принять, несколько упрощая [3], что

$$\frac{I(\Omega)}{I(0)} = \frac{1}{1 + \Omega^2 \tau^2}, \quad (2)$$

то $\Omega \tau (I(\Omega)/I(0))$ будет иметь максимум на частоте $\Omega = 1/\tau$. Следовательно, на этой частоте выражение для порога (1) будет иметь минимум, а это, в свою очередь, означает, что вынужденное рассеяние света крыла линии Релея будет иметь максимум на частоте Ω ,

который не совпадает с максимумом интенсивности света крыла в тепловом рассеянии.

Для исследования были выбраны следующие жидкости: сероуглерод, бензол, толуол, нитробензол, уксусная кислота, салол и триацетин. Возбуждающий свет излучался рубиновым квантовым генератором

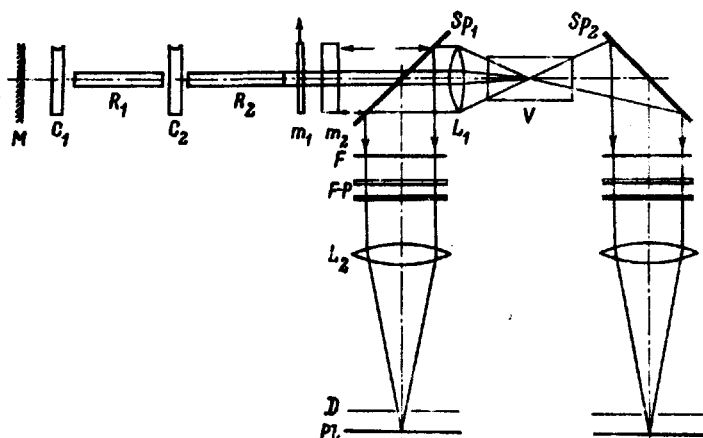


Рис. 1. Схема установки: М - зеркало ($R \approx 100\%$), R_1, R_2 - рубины длиной 12 см и ϕ 1,2 см, m_1, m_2 - плоскопараллельные пластинки, SP_1, SP_2 - разделительные стеклянные пластинки, L_1, L_2 - объективы ($f = 120$ см)

(рис. 1) с добротностью, модулированной двумя квантами C_1 и C_2 , толщиной 1 см, наполненными раствором криптоцианина в метиловом спирте с концентрацией $1,8 \cdot 10^{-6}$ М. В режиме, использованном для обнаружения вынужденного рассеяния света крыла линии Релея, мощность импульса была около 100 мвт. Свет импульса фокусировался линзой L_1 ($f = 3$ см) внутрь сосуда V , наполненного рассеивающей жидкостью. Свет, рассеянный под углом 180° и 0° к направлению распространения возбуждающего света, направлялся через светофильтр F на интерферометр Фабри-Перо $F-P$ и фотографировался на фотопластинке Pl . Переменное ослабление возбуждающего света осуществлялось введением между m_2 и SP_1 различного числа плоских стеклянных пластинок. Снимки были получены на эталоне Фабри-Перо с областью дис-

персии 50, 16, 8 и 1 см^{-1} . Вынужденное рассеяние света крыла линии Релея было обнаружено в сероуглероде и нитробензоле при комнатной температуре и в салоле при температуре 170°C . В бензоле, толуоле, уксусной кислоте и триацетине в тех же условиях явления не было обнаружено.

Вынужденное рассеяние Мандельштама - Бриллюэна наблюдалось во всех названных жидкостях, кроме триацетина.

На рис.2 (см.вклейку) показано вынужденное рассеяние света крыла линии Релея в нитробензоле и салоле. Вынужденное крыло в нитробензоле простирается приблизительно на 1 см^{-1} , и в его распределении интенсивности намечается максимум, положение которого, однако, трудно установить, потому что вблизи этого максимума лежит стоковского компонента вынужденного рассеяния Мандельштама - Бриллюэна $\sim 0,23 \text{ см}^{-1}$. В случае салола видна отчетливая полоса (вынужденное крыло) с максимумом около $0,16 \text{ см}^{-1}$.

В сероуглероде при использованной интенсивности возбуждающего света вынужденное крыло линии Релея простирается до 15 см^{-1} . Когда интенсивность возбуждающего света уменьшалась на 10-15%, вынужденное крыло исчезало. Эти изменения показаны на рис. 3 (см. вклейку).

Во всех трех жидкостях вынужденное крыло линии Релея имеет отчетливый порог.

Существование порога, интенсивность рассеяния, сравнимая с интенсивностью возбуждающего света, наличие максимума в крыле и отсутствие антистоксового крыла - все это доказывает, что во всех трех описанных выше случаях наблюдается вынужденное рассеяние света крыла линии Релея.

Авторы выражают сердечную благодарность М.А.Высоцкой и В.П. Зайцеву за помощь в проведении эксперимента и П.Г.Крыкозу и Р.В. Амбарцумяну за измерение мощности светового импульса в нашей установке.

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

Поступило в редакцию
22 мая 1965 г.

Литература

- [1] E.J. Woodbury, W.K. Ng. Proc. IRE, 50, 23, 67, 1962.
- [2] R.Y. Chiao, C.H. Townes, B.P. Stoicheff. Phys. Rev. Lett., 12, 592, 1964; R.G. Brewer, K.E. Rieckhoff. Phys. Rev. Lett., 13, 334, 1964.
- [3] И.Л. Фабелинский. Молекулярное рассеяние света. Труды ФИАН, 2, 181, 1957.
- [4] Я.И. Френкель. Кинетическая теория жидкостей. Изд. АН СССР, 1959.
- [5] С.А. Ахманов, Р.В. Хохлов. Проблемы нелинейной оптики (1962-1963). Изд. АН СССР, Ин-т информации, 1964.

I) При получении выражения для f предположено, что $(\alpha_1 - \alpha_2)E^2 < kT$ (это выполняется вплоть до полей $E \sim 10^7$ в/см).