

## ВЛИЯНИЕ ШИРИНЫ СПЕКТРАЛЬНОЙ ЛИНИИ ВОЗБУЖДАЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА УСИЛЕНИЕ ПРИ ВЫНУЖДЕННОМ РАССЕЯНИИ

А.З.Фрасюк, И.Ф.Зубарев, Н.В.Суязов

1. Усиление света при вынужденном рассеянии в поле накачки интенсивности  $I_H$  ( $\text{вт/см}^2$ ) в активной среде длиной  $L$  ( $\text{см}$ ) происходит по закону  $\exp(gI_H L)$ . Коэффициент усиления  $g$  ( $\text{см/вт}$ ) имеет вид:  $g = A/\Delta\omega$ . Здесь  $\Delta\omega = 2\pi(\Delta\nu_H + \Delta\nu_{\text{ср}})$ ,  $\Delta\nu_H$  ( $\text{см}^{-1}$ ),  $\Delta\nu_{\text{ср}}$  ( $\text{см}^{-1}$ ) – соответственно, ширины спектральных линий возбуждающего излучения и спонтанного рассеяния. Для вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР)  $A = \lambda_c^2 \sigma N / Y$ , где  $\lambda_c$  – длина волны первой стоксовой компоненты,  $\sigma$  – сечение ВКР,  $N$  – концентрация молекул. Для вынужденного рассеяния Мандельштама – Бриллюэна  $A = \gamma^2 k^2 / (n^3 c \rho \nu)$ , где  $\gamma$  – фотоупругая постоянная среды,  $\rho$  – ее плотность,  $n$  – показатели преломления,  $k = 2\pi/\lambda$  – волновой вектор,  $c$ ,  $\nu$  – соответственно скорости света и гиперзвука.

При широкополосной накачке, когда  $\Delta\nu_H \gg \Delta\nu_{\text{ср}}$ , коэффициент усиления  $g$  казалось бы всегда должен уменьшаться с ростом  $\Delta\nu_H$ :  $g = A/\Delta\nu_H$ . Однако проведенные нами ранее опыты [1] впервые показали, что это не так. Оказалось, что при определенных условиях эффективность преобразования в стоксовы компоненты ВКР (определяемая коэффициентом усиления) может не зависеть от ширины спектральной линии накачки при изменении последней в диапазоне  $10^{-3} + 40 \text{ см}^{-1}$ .

Впоследствии в теоретических работах [ 2,3 ] были рассмотрены различные особенности вынужденного рассеяния в поле широкополосной накачки (ВРШН). При этом были предсказаны некоторые новые эффекты.

2. В описываемых ниже опытах мы наблюдали новые явления, теоретически предсказанные в [ 3 ] и проявляющиеся в области интенсивностей накачки, характерных для практических приложений. Эти новые явления заключаются в асимметрии по отношению к направлениям "вперед-назад" и в пороговом характере зависимости инкремента усиления от интенсивности возбуждения при ВРШН.

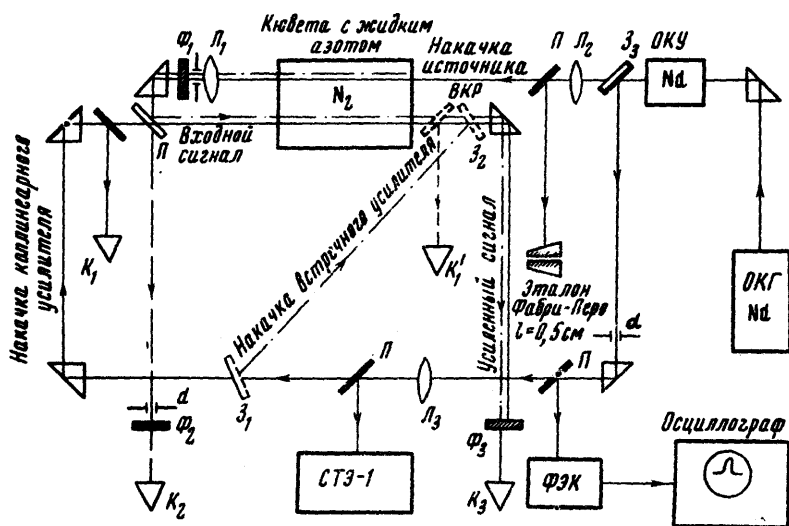


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки:  $K_1 - K_3$  - калориметры;  $\Phi_1 - \Phi_3$  - селективные фильтры, пропускающие стоксов сигнал и отсекающие излучение накачки.  $\Pi$  - плоскопараллельные стеклянные пластины; ФП - интерферометр Фабри - Перо с зазором 0,5 см; СТЭ-1 - спектрограф; ФЭК - коаксиальный фотоземлет с осциллографом И2-7; ОКГ Nd-лазер на фосфатном неодимовом стекле с модулированной добротностью; ОКУ - усилитель на стекле с Nd;  $\rightarrow$  - накачка,  $\dashrightarrow$  - ВКР-сигнал. Пунктиром указана та часть схемы, которая используется при исследовании встречного варианта стоксова усилителя

Экспериментально исследовалась зависимость инкремента усиления при ВКР от интенсивности накачки для различных соотношений между  $\Delta \nu_H$  и  $\Delta \nu_{CP}$  в двух вариантах усиления: коллинеарном и встречном (накачка и внешний стоксов сигнал идут соответственно в одном направлении или навстречу друг другу).

Источником накачки служило излучение лазера с модулированной добротностью на фосфатном неодимовом стекле. Его спектр регулировался в пределах от  $\Delta \nu_H \lesssim 3 \cdot 10^{-2} \text{ см}^{-1}$  (модуляция добротности красителем) до  $\Delta \nu_H = 0,3 \text{ см}^{-1}$  (модуляция добротности вращающейся призмой и селекция мод: две плоскопараллельные стеклянные пластины разной толщины в качестве выходного зеркала резонатора).

Для жидкого азота  $\Delta\nu_{\text{ср}} = 0,067 \text{ см}^{-1}$  и при  $\Delta\nu_{\text{н}} = 0,3 \text{ см}^{-1}$  выполняется условие широкополосности  $\Delta\nu_{\text{н}} \gg \Delta\nu_{\text{ср}}$ . В то же время достаточно малой является отмеченная в [3] пороговая величина интенсивности накачки  $I_{\text{н}}^{\text{п}} = (2\pi\nu'/g_0)\Delta\nu_{\text{н}}$ . Здесь  $\nu' = |(\nu_{\text{с}} - \nu_{\text{н}})|\bar{\nu}|$  — относительная дисперсия групповых скоростей накачки ( $\nu_{\text{н}}$ ) и стоксовой компоненты ( $\nu_{\text{с}}$ ) (при коллинеарном усилении  $\nu' \sim 10^{-2}$ , при встречном  $\nu' = 2$ ), а  $g_0$  — коэффициент усиления при узкополосном возбуждении, который для жидкого азота равен  $g_0 = 10^{-2} \text{ см/Мвт}$  [4]. Это значит, что при коллинеарном усилении  $I_{\text{н}}^{\text{п}} \approx 1,8 \text{ Мвт/см}$ . При этом отсутствуют такие нежелательные побочные явления, как самофокусировка, заметное преобразование в стоксову компоненту в возбуждающем пучке без внешнего сигнала<sup>1)</sup> и т.д. Для встречного усиления  $I_{\text{н}}^{\text{п}} \approx 300 \text{ Мвт/см}^2$ .

Блок-схема экспериментальной установки показана на рис. 1. Излучение неодимового лазера зеркалом  $\mathcal{Z}_3$  делится на два пучка. Один из них фокусировался линзой  $L_2$  и создавал в кювете ВКР, первая стоксова компонента которого использовалась в качестве входного сигнала для ВКР-усилителя. Коэффициент усиления измерялся калориметрами  $K_2, K_3$ ; форма и длительность импульса накачки регистрировались коаксиальным элементом ФЭК-09 и осциллографом И2-7. Спектральный состав излучения контролировался спектрографом СТЭ-1 и интерферометром Фабри — Перо с зазором  $0,5 \text{ см}$  (разрешение  $0,03 \text{ см}^{-1}$ ).

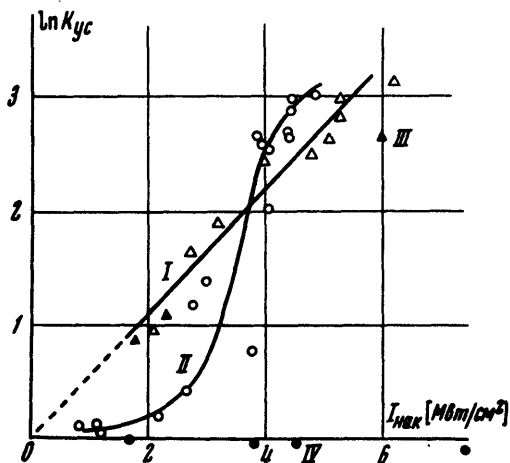


Рис. 2. Экспериментальная зависимость  $\ln K_{yc} = \ln [E_{\text{с}}^{\text{ВВХ}} / E_{\text{с}}^{\text{ВХ}}]$  от интенсивности накачки  $I_{\text{н}}$  для коллинеарного и встречного вариантов усиления.

- $\triangle\triangle$  —  $\Delta\nu_{\text{н}} \leq 0,03 \text{ см}^{-1}$  } коллинеарный вариант
- $\circ\circ$  —  $\Delta\nu_{\text{н}} = 0,3 \text{ см}^{-1}$  }
- $\blacktriangle\blacktriangle$  —  $\Delta\nu_{\text{н}} \leq 0,03 \text{ см}^{-1}$  } встречный вариант
- $\bullet\bullet$  —  $\Delta\nu_{\text{н}} = 0,3 \text{ см}^{-1}$  }

3. Экспериментально измерялась величина  $\ln K_{yc} = \ln [E_{\text{с}}^{\text{ВВХ}} / E_{\text{с}}^{\text{ВХ}}]$  как функция интенсивности накачки  $I_{\text{н}}$  при фиксированной длине усиленной кюветы  $L = 50 \text{ см}$ . Здесь  $E_{\text{с}}^{\text{ВХ}}$  — энергия стоксова сигнала на входе усиленной кюветы, а  $E_{\text{с}}^{\text{ВВХ}}$  — энергия усиленного сигнала на выходе ( $E_{\text{с}}^{\text{ВХ}}, E_{\text{с}}^{\text{ВВХ}} \ll I_{\text{н}}\tau_{\text{н}}$ ). Таким образом отклонение зависимости

1) В данном случае оно наблюдалось при  $I_{\text{н}} > 6 + 8 \text{ Мвт/см}^2$ .

$\ln K_{yc}$  от линейной по  $I_H$  ( $\ln K_{yc} = g I_H L$ ) свидетельствует об изменении величины коэффициента усиления  $g$ .

Экспериментальные результаты представлены на рис. 2. Видно, что при узкополосной накачке (зависимости I, III) соответствующий узкополосный коэффициент усиления  $g_0$  практически постоянен ( $g_0 \approx 10^{-2} \text{ см/Мвт}$ ) и не зависит от направления взаимного распространения накачки и сигнала.

Совершенно иная картина наблюдается при широкополосном возбуждении (II, IV). В коллинарном случае (II) до тех пор пока интенсивность накачки ниже некоторого порога ( $I_H^{\text{п}} \approx 3 \text{ Мвт/см}^2$ ) "широкополосный" коэффициент усиления  $g_{\text{ш}}$  значительно меньше узкополосного ( $g_{\text{ш}} < g_0$ ). По мере превышения порога величина  $g_{\text{ш}}$  резко нарастает, приближаясь к  $g_0$ . Другими словами, усиление становится таким же, как и при узкополосной накачке. При встречном варианте во всей области исследованных интенсивностей усиления нет вообще ( $g_{\text{ш}} \approx 0$ ). Этот факт пока не имеет теоретического объяснения.

Авторы благодарны Ю.Е.Дьякову и С.А.Ахманову за плодотворные дискуссии по данному вопросу, В.Г.Смирнову и В.И.Мишину за полезное обсуждение постановки экспериментов и В.В.Бочарову за помощь при проведении опытов.

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

Поступила в редакцию  
13 июля 1972 г.

#### Литература

- [1] В.В.Бочаров, А.З.Грасюк, И.Г.Зубарев, В.Ф.Муликов, ЖЭТФ, 56, 430, 1969.
  - [2] Ю.Е.Дьяков. Письма в ЖЭТФ, 11, 362, 1970.
  - [3] С.А.Ахманов, Ю.Е.Дьяков, А.С.Чиркин. Письма в ЖЭТФ, 13, 724, 1971.
  - [4] В.В.Бочаров, М.Ф.Фангардт, А.З.Грасюк, И.Г.Зубарев, Е.А.Юков, ЖЭТФ, 57, 1585, 1969.
-