

УДК 535.375.621.375.9.535

ФАЗОВЫЕ ЭФФЕКТЫ ПРИ ВКР ШИРОКОПОЛОСНОЙ НАКАЧКИ В ДИСПЕРГИРУЮЩЕЙ СРЕДЕ

Г. П. ДЖОТЯН, А. В. МЕСРОПЯН

НПО «Лазерная техника» ЕГУ

(Поступила в редакцию 12 января 1991 г.)

Представлены результаты численного анализа вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР) накачки, состоящей из трех частотных компонент (мод). Проанализировано поведение фаз мод взаимодействующих волн в диспергирующей среде в режиме насыщения.

В последние годы проблемы коррекции волнового фронта эксимерных лазеров стимулировали развитие теории вынужденного рассеяния некогерентного излучения [1, 2]. Обычно, наряду с большой угловой расходимостью эксимерные лазеры обладают и широким частотным спектром. Это может оказывать существенное влияние на процесс коррекции волнового фронта на основе вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР-КВФ). Эффективная ВКР-КВФ имеет место в режиме насыщения ВКР, когда достигается высокий коэффициент преобразования мощности многомодовой накачки в плоскую пространственно однородную волну усиливаемой Стоксовой затравки. Если процесс ВКР при широкополосной накачке (ШН) и при малых коэффициентах преобразования исследован достаточно подробно (см., например, [3—5]), то режим насыщения, когда становится существенным учет истощения накачки, исследован не в полной мере. В этом режиме получено аналитическое решение рассматриваемой задачи лишь в недиспергирующей среде [6]. Здесь, в частности, показано, что характеристики ВКР существенным образом зависят от фазовых соотношений между частотными модами накачки и Стоксовой затравки. Так, например, при ортогональности этих волн на входе в среду имеет место интерференционное подавление ВКР [6]. Учесть влияние дисперсии среды аналитически удастся только в приближении заданного поля накачки. Полученное в этом приближении в [7] аналитическое решение задачи о ВКР ШН в диспергирующей среде позволило найти более общее условие для интерференционного подавления ВКР.

Фазовые эффекты при ВКР также исследовались в приближении заданного поля ШН [8, 9]. Исключение составляет [10], где проведен численный анализ системы уравнений ВКР в режиме насыщения, однако, в недиспергирующей среде. Эксперименты по исследованию степени сохранения фазовой информации в Стоксовой затравке при ее ВКР усилении в поле ШН, имевшей как фазовые, так и амплитудные неоднородности, проведены в [11]. В [12] экспериментально исследован вопрос воспроизведения фазы накачки фазой Стоксовой компоненты.

Таким образом, на сегодняшний день вопрос исследования ВКР ШН в режиме насыщения в диспергирующей среде остается открытым.

В настоящей работе приведены результаты численного анализа поведения фазы Стоксовой волны при ее ВКР-усилении в режиме насыщения в диспергирующей среде в поле ШН. Последняя предполагается состоящей из трех эквидистантных частотных мод, расстояние между которыми превышает ширину линии комбинационно-активного перехода среды. На временном языке это означает, что период временной модуляции накачки меньше времени поперечной релаксации среды. При выполнении последнего условия волну молекулярных колебаний, возбуждаемых при ВКР ШН можно считать одномодовой [6].

Представим комплексную амплитуду накачки A_n и Стоксовой волны A_c в следующем виде:

$$\begin{aligned} A_H(t, z) &= \sum_{n=-N}^N A_n(z) \cdot \exp \{i \cdot n \cdot \Omega \cdot (t - z/v_H)\}, \\ A_c(t, z) &= \sum_{n=-N}^N a_n(z) \cdot \exp \{i \cdot n \cdot \Omega \cdot (t - z/v_c)\}, \end{aligned} \quad (1)$$

где Ω — частотный интервал между спектральными компонентами волн,

$$N = 1, \quad A_n = |A_n(z)| \cdot \exp \{i \cdot \Phi_n(z)\}, \quad a_n = |a_n(z)| \cdot \exp \{i \cdot \varphi_n(z)\}.$$

Для реальных амплитуд и фаз мод накачки и Стоксовой волны имеем систему уравнений [5]

$$\begin{aligned} \frac{d|a_n|}{dz} &= G_c \cdot |A_n| \cdot \sum_{m=-N}^N |A_m| \cdot |a_m| \cdot \cos(\varphi_m - \Phi_m + \Phi_n - \varphi_n), \\ \frac{d|A_n|}{dz} &= -G_H \cdot |a_n| \cdot \sum_{m=-N}^N |A_m| \cdot |a_m| \cdot \cos(\Phi_m - \varphi_m + \varphi_n - \Phi_n), \\ \frac{d\varphi_n}{dz} &= -q \cdot n + \frac{G_c}{|a_n|} \cdot |A_n| \cdot \sum_{m=-N}^N |A_m| \cdot |a_m| \cdot \sin(\varphi_m - \Phi_m + \Phi_n - \varphi_n), \\ \frac{d\Phi_n}{dz} &= -\frac{G_H}{|A_n|} \cdot |a_n| \cdot \sum_{m=-N}^N |A_m| \cdot |a_m| \cdot \sin(\Phi_m - \varphi_m + \varphi_n - \Phi_n), \end{aligned} \quad (2)$$

где $z = z'/L$, z' — продольная координата, L — длина Рамановской среды, $0 \leq z \leq 1$, $q = L \cdot v \cdot \Omega$, $v = 1/v_c - 1/v_H$ — расстройка обратных групповых скоростей v_c и v_H , $G_c = g \cdot L/2$, $G_H = \omega_H \cdot g \cdot L/(2 \cdot \omega_c)$, g — фактор усиления при ВКР. Ниже для простоты считаем, что $G_c \approx G_H = G$. В (2) введены величины φ_n , связанные с фазами φ'_n мод Стоксовой волны соотношением $\varphi_n = \varphi'_n - i \cdot v \cdot \Omega \cdot n \cdot z$. Такой выбор смещенных фаз φ_n имеет наглядный физический смысл. В тех областях изменения параметров рассматриваемой задачи, в которых $\varphi_n = \text{const}$ имеем $\varphi'_n = \text{const} + i \cdot v \cdot \Omega \cdot n \cdot z$. Подстановка этого значения φ'_n в (1) показы-

вает, что распространение Стоксовой волны происходит с групповой скоростью, равной скорости накачки. Этот режим взаимодействия соответствует режиму захвата фазы Стоксовой волны волной накачки [11].

Ниже приводятся и комментируются результаты численного решения системы уравнений (2). Расчеты сделаны при значениях параметров: $q=10$ и $G=0.035$ см²/мВт.

На рис. 1 и 2 приведены разности фаз мод накачки и смещенных фаз Стоксовой волны $\Phi_n - \varphi_n$ (рис. 1) и зависимость фаз мод накачки Φ_n (рис. 2) от величины интенсивности одной моды накачки I_H^0 (входные интенсивности всех мод накачки равны) на входе в среду ($z=0$). В этой точке фазы всех мод приняты равными нулю.

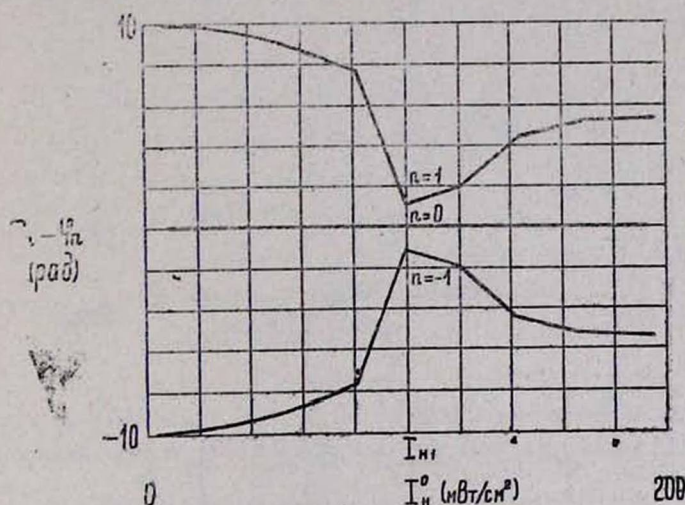


Рис. 1. Зависимость $\Phi_n - \varphi_n$ от I_H^0 .

$$|a_n(0)|^2 = 0.01 \text{ (мВт/см}^2\text{)}, (n = 0, \pm 1)$$

$$|A_{-1}^{(0)}| = |A_0(0)| = |A_1(0)|.$$

Как следует из рис. 1, разность фаз $\Phi_n - \varphi_n$ мод накачки и смещенных фаз соответствующих мод Стоксовой волны при критической интенсивности I_{H1} минимальна. Вблизи I_{H1} из-за достаточно большого усиления стоксовой компоненты фазы всех ее мод с точностью до аддитивной постоянной, не зависящей от номера моды, равны фазам соответствующих мод накачки (захват фаз мод Стоксовой волны волной накачки). При $I_H^0 > I_{H1}$ из-за эффектов насыщения, приводящих к нарушению эффекта захвата фаз, разность фаз $\Phi_n - \varphi_n$ возрастает с увеличением I_H^0 .

На рис. 2 представлены зависимости фаз мод накачки от I_H^0 . Как следует из рисунка Φ_n не изменяются до I_{H1} . Вблизи I_{H1} эффективность ВКР велика и уже при ($I_H^0 > I_{H1}$) проявляются эффекты насыщения — происходит изменение амплитуд и фаз мод накачки в процессе ВКР. Следует отметить, еще один интересный эффект, выявленный в процес-

се численного анализа. Как видно из рис. 2, при определенном значении интенсивности входной накачки I_{H2} фазы всех мод накачки уравниваются.

На рис. 3 представлены зависимости разности фаз мод накачки и смещенных фаз мод Стоксовой волны от длины рассеяния. В точке $z=0$

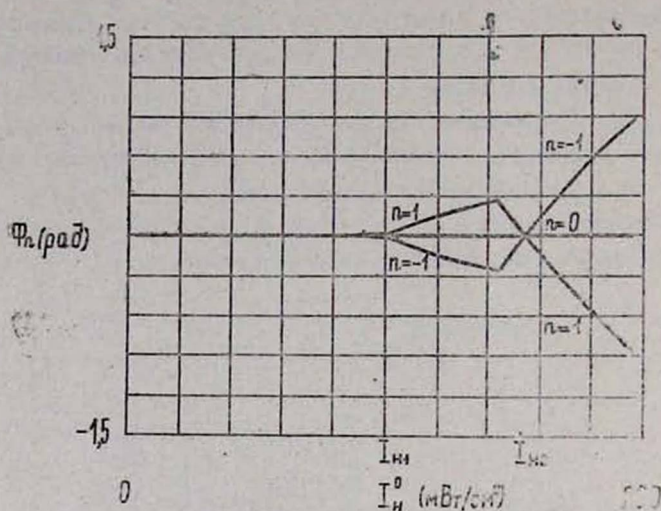


Рис. 2. Зависимость Φ_n от I_H^0 .

$$|a_n(0)|^2 = 0.01 \text{ (мВт/см}^2\text{)}, \quad (n = 0, \pm 1)$$

$$|A_{-1}(0)| = |A_0(0)| = |A_1(0)|.$$

фазы всех мод приняты равными нулю. Видно, что захват фаз мод Стоксовой волны начинается при определенном $z=Z_0$ и продолжается до се-

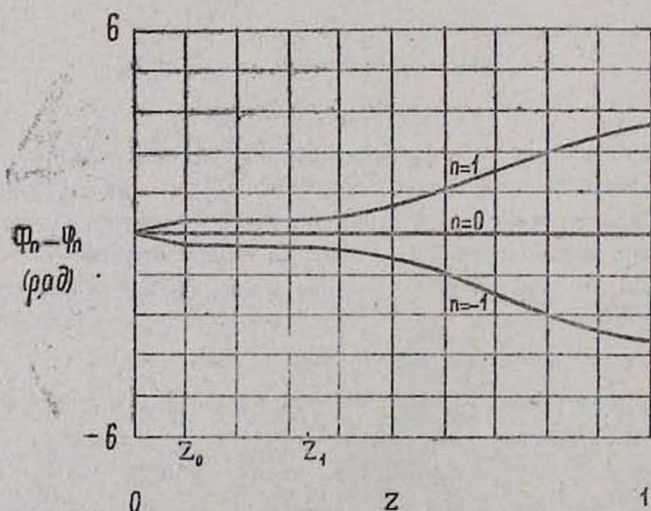


Рис. 3. Зависимость $\Phi_n - \varphi_n$ от z .

$$|a_n(0)|^2 = 0.01 \text{ (мВт/см}^2\text{)},$$

$$|A_n(0)|^2 = 13 \text{ (мВт/см}^2\text{)}, \quad (n = 0, \pm 1).$$

чения $z=Z_1$, когда наступает насыщение ВКР (в области $Z_0 < z < Z_1$, в которой $\varphi_n = \text{const}$, как отмечалось выше, групповая скорость Стоксовой волны совпадает с групповой скоростью накачки и имеет место эффект захвата фазы). При $z > Z_1$ фазы мод Стоксовой волны уже перестают непосредственно определяться фазами мод накачки.

На рис. 4 представлены зависимости фаз мод накачки от длины рассеяния, нормированной на полную длину комбинационно-активной среды при фиксированной интенсивности входной накачки. В точке $z=0$ фазы всех мод приняты равными нулю. Здесь, как и на рис. 2, изменение фаз мод накачки от граничного нулевого значения происходит при определенной длине рассеяния Z_1 , когда начинают проявляться эффекты насыщения. В определенном сечении нелинейной среды при $z=Z_2$ фазы всех мод накачки уравниваются.

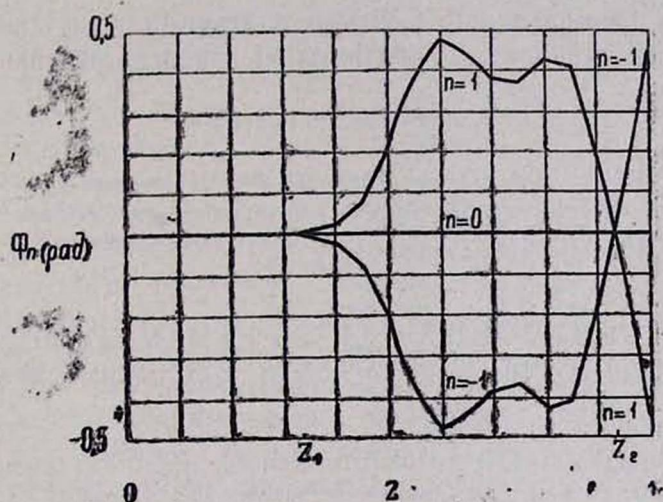


рис. 4. Зависимость φ_n от z .

$$|a_n(0)|^2 = 0.01 \text{ (мВ/см}^2\text{)},$$

$$|A_n(0)|^2 = 13 \text{ (мВт/см}^2\text{)}, \quad (n=0, \pm 1).$$

В заключение резюмируем основные результаты работы. Проведен численный анализ ВКР трехмодовой накачки в диспергирующей среде с учетом эффектов насыщения. Показано, что вблизи критического значения интенсивности накачки происходит фазирование мод стоксовой волны модами накачки: разность фаз мод накачки и соответствующих мод Стоксовой волны при $I_n^0 \approx I_{n1}$ минимальна. Насыщение ВКР приводит к нарушению эффекта захвата фаз. Показано, что существует определенное значение интенсивности входной накачки при фиксированной длине рассеяния и определенная длина рассеяния при фиксированной интенсивности входной накачки, когда фазы мод накачки уравниваются.

1. Stappaerts E. A., J. Opt. Soc. Am. B3, 1330 (1986).
2. Дьяков Ю. Е., Никитин С. Ю. Квант. электрон. 14, 1925 (1987).
3. Джотян Г. П. и др. ЖЭТФ, 73, 822 (1977).
4. Raymer M. G., Mostowski J., Carlsten J. L., Phys. Rev., A19, 2304 (1979).
5. Ахманов С. А., Дьяков Ю. Е., Чиркин А. С. Введение в статистическую радиофизику и оптику. Изд. Наука, М., 1981.
6. Джотян Г. П., Дьяков Ю. Е. Вестник МГУ, сер. Физика—Астрономия, 18, 7С (1977).
7. Джотян Г. П., Дьяков Ю. Е. Вестник МГУ, сер. Физика—Астрономия, 22, 3 (1981).
8. Kung R. T. V., IEEE, J. Quant. Electron., QE, 18, 2056 (1982).
9. Valley G. C., IEEE, J. Quant. Electron., QE, 18, 1370 (1982).
10. Ackerhalt J. R., Kurtt N. A., J. Opt. Soc. Am. B3, 1352 (1986).
11. Зубарев Н. Г., Михайлов С. И. Квант. электрон. 5, 2383 (1978).
12. Lombardi G. G., Injeyan H., J. Opt. Soc. Am. B3, 1451 (1986).

**ՓՈՒԼԱՅԻՆ ԵՐԵՎՈՆՅՈՒՆԻՐԸ ԴԻՍՊԵՐՍԻՈՆ ՄԻՋԱՎԱՅՐՈՒՄ ԼԱՅՆԱՇԵՐՏ
ՄՂՄԱՆ ՀԱՐԿԱԴՐԱԿԱՆ ԿՈՄԲԻՆԱՅԻՆ ՑՐՄԱՆ ԸՆԹԱՑՔՈՒՄ**

Գ. Գ. ԶՈԹՅԱՆ, Ա. Վ. ՄԵՍՐՈՊՅԱՆ

Հոդվածում ներկայացված են երեք հաճախային մոդայից բաղկացած լայնաշերտ մղման հարկադրական կոմբինացիոն ցրման թվային հետադրուման արդյունքները: Ուսումնասիրված է փոխազդող ալիքների փոփոխական վարքագիծը դիսպերսիոն միջավայրում՝ հաղեցման ուժի պայմաններում:

**PHASE EFFECTS IN STIMULATED RAMAN SCATTERING
WITH BROADBAND PUMPING IN A DISPERSIVE MEDIUM**

G. P. DJOTYAN, A. V. MESROPYAN

A numerical analysis of stimulated Raman scattering of broadband pumping consisting of three spectral components is given. The behaviour of interacting waves phases in saturation regime in a dispersive medium has been studied.

Изв. АН Армении, Физика, т. 27, вып. 2, с. 68—74 (1992)

УДК 535.341:539.216.2

**ՕՊՏԻԿԵՍԿԻԵ ՍԵՐԵՃՈՒԹՅԱՆ ԵՄԵԺՈՒ ԴՈՆՈՐՆՅԱԿԱՆ
Ի ԱԿՇԵՓՏՈՐՆՅԱԿԱՆ ԸՆԴՐԱՆԻՆ ԵՆ ԿՎԱԶԻԴՎՈՒՄԵՐՆՈՒ
ՍՈՒՄՊՐՈՎՈԴՆԻԿԵ**

Տ. Կ. ԱՎԵՏԻՅԱՆ, Ա. Յ. ԵՆՈԿՅԱՆ

Երևանский политехнический институт,

Յ. Մ. ԿԱԶԱՐՅԱՆ

Երևանский государственный университет

(Поступила в редакцию 25 апреля 1991 г.)

Рассмотрено поглощение света между донорными и акцепторными уровнями в слабегированной некомпенсированной полупроводнико-