

ВЛИЯНИЕ НЕЛИНЕЙНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОВФ ПОПУТНЫХ ПУЧКОВ

И.Н. Кожевникова

Исследовано численное решение для схемы обращения волнового фронта попутных пучков в активной резонансной среде. Показано влияние нелинейного поглощения на эффективность обращения.

При распространении оптического излучения его амплитудно-фазовый профиль может претерпевать регулярные и нерегулярные искажения. Компенсировать регулярные искажения светового пучка, например, его дефокусировку, можно, используя методы нелинейной оптики /1/. Для устранения второго типа искажений наиболее целесообразно использовать системы обращения волнового фронта /2,3/.

В данной работе теоретически исследуются нелинейные эффекты и эффективность преобразования при продольном четырехволновом взаимодействии световых пучков в условиях двухфотонного резонанса.

Для среды с локальной безынерционной нелинейностью основные уравнения, описывающие процесс взаимодействия четырех пучков, в квазистационарном приближении имеют вид:

$$\frac{\partial A_1}{\partial z} + \beta_1^{(x)} \frac{\partial A_1}{\partial x} + \beta_1^{(y)} \frac{\partial A_1}{\partial y} + iD_1 \Delta_{\perp} A_1 - i(\gamma_1 - i\delta_1) \left[\sum_{j=1}^4 |A_j|^2 - |A_1|^2/2 \right] A_1 + A_2 A_3^* A_4 = 0 \quad (1)$$

с граничными условиями $A_j(z=0, x, y) = f_j(x, y) \exp(i\Phi_j(x, y))$, $j = 1 \div 4$. Здесь A_j — комплексные амплитуды световых пучков, нормированные на максимальное значение накачки A_{01} ; z — координата, вдоль которой происходит взаимодействие пучков, измеряемая в единицах $2k_1 a_1^2$; k_j — волновое число j -го пучка; a_j — начальный радиус пучка; D_j — отношение волнового числа k_1 к волновому числу j -го пучка; Δ_{\perp} — поперечный оператор Лапласа; x, y — поперечные координаты, нормированные на a_1 ; $\beta_j^{(x)}, \beta_j^{(y)}$ — коэффициенты, характеризующие снос j -го пучка по осям x, y ; γ_j, δ_j характеризуют нелинейность процесса; f_j, Φ_j — начальные распределения амплитуды и фазы. Три других уравнения системы (1) получаются циклической заменой индексов. Для такого взаимодействия условие фазового синхронизма запишется в следующем виде: $k_1 - k_2 = k_4 - k_3$. В дальнейшем будем рассматривать влияние двухфотонного резонанса на вырожденное взаимодействие ($\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_4 = \omega$) без учета эффекта насыщения. Для керровской среды при $\delta_j = 0$ $\gamma = k_1 n_2 a_1^2 |A_{01}|^2 / 2n_0$.

Указанный механизм четырехволнового взаимодействия можно использовать для получения сигналов с обращенным волновым фронтом /4, 5/, так как амплитуда генерируемой волны A_4 комплексно сопряжена амплитуде A_2 .

Без учета дифракции и сноса пучков система (1) решалась численно методом Рунге — Кутты. Правильность численного решения задачи контролировалась с помощью интегралов сохранения, которыми обладает система (1) при отсутствии двухфотонного поглощения ($\delta_j = 0$):

$$\sum_{j=1}^4 |A_j|^2 = \text{const}; \quad |A_1|^2 - |A_3|^2 = \text{const}; \quad |A_2|^2 - |A_4|^2 = \text{const}. \quad (2)$$

Из существования интегралов (2) следует, что энергия перекачивается из одной пары пучков (1, 3) в другую (2, 4) независимо от их интенсивности.

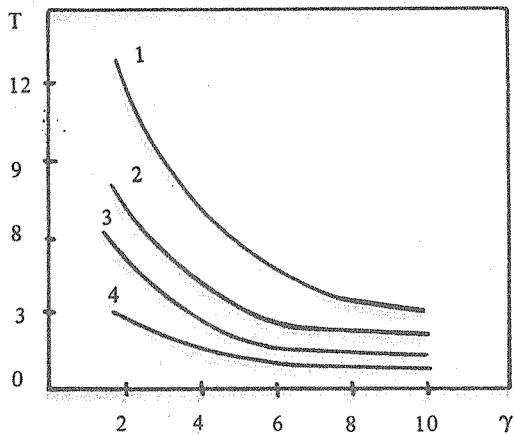


Рис. 1. Зависимость пространственного периода перекачки энергии в пучок A_4 от коэффициента нелинейности γ : $A_2(0) = 0,01$ (1); $0,1$ (2); $0,2$ (3); $0,5$ (4).

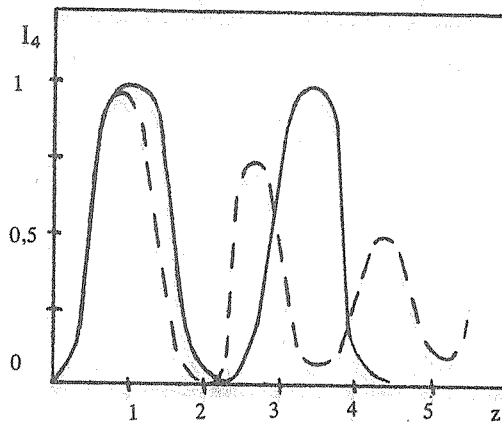
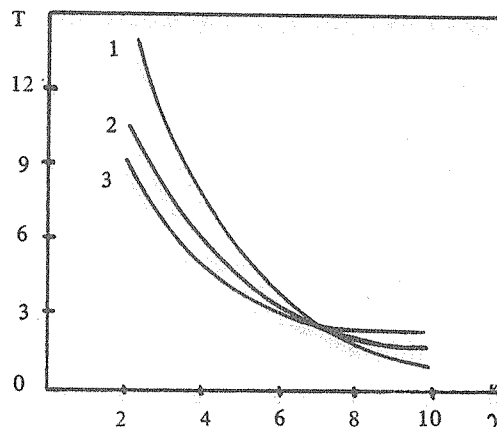


Рис. 2. Зависимость интенсивности волны A_4 от длины активной зоны: $A_2(0) = 0,01$, $\gamma = 10$, $\delta = 0$ — сплошные линии; $\delta = 0,1$ — пунктир.

Рис. 3. Зависимость пространственного периода перекачки энергии в волну A_4 от коэффициента γ для поглощающей среды ($\delta = 0,1$) для значений $A_2(0)$, указанных на рис. 1.



Рассмотрим особенности ОВФ в этом случае. Пусть A_1, A_3 — волны накачки ($\hat{A}_1(0) = A_3(0) = 1$), A_2 — сигнальная волна, $A_2(0) = A_{20}$, A_4 — генерируемая обратная волна ($A_4(0) = 0$). Численное решение системы (1) показало, что интенсивность четвертого пучка растет быстрее, чем суммарная интенсивность исходных трех пучков по мере увеличения интенсивности на входе; так, при увеличении $I_{\text{вх}} = \sum_{j=1}^4 |A_j(0)|^2$ на $\Delta = 0,969$ в среде с $\gamma = 5$ интенсивность четвертой волны на выходе $A_4(z = 0,1)$ возросла на $\Delta' = 0,8215$, тогда как интенсивность первых трех пучков увеличилась на $\Delta'' = 0,1475/4$. Пространственная эволюция четвертой волны сильно зависит от интенсивности сигнальной волны $A_2(0)$, так как при $A_2(0) \ll 1$ пространственный период перекачки энергии в волну $A_4(z)$ $T \sim \ln(1/A_2(0)) \rightarrow \infty$, т.е. рост $A_2(z)$ происходит на достаточно длинном отрезке нелинейной среды (рис. 1). На рис. 2 показана эволюция четвертой волны при достаточно протяженной активной области взаимодействия.

В присутствии резонансного поглощения ($\delta > 0$) происходит периодическая перекачка энергии из волн накачки A_1, A_3 в сигнальную и обратную волны (A_2, A_4) при постоянном уменьшении интенсивностей взаимодействующих волн. Пространственный период обмена энергией между парами волн (здесь рассмат-

ривается именно парное взаимодействие) растет при $z \rightarrow \infty$, $T \rightarrow \infty$ и $\sum_{j=1}^4 |A_j(z)|^2 \rightarrow 0$ (под периодом понимается удвоенное расстояние, на котором происходит изменение интенсивности от минимального значения до максимального). Численное решение (1) при $\delta > 0$ ($\delta = n_2''/n_2'$, $n_2 = n_2' + in_2''$) показано на рис. 3. Видно, что с ростом коэффициента нелинейной связи γ пространственный период обмена энергией между парами взаимодействующих пучков уменьшается (область $\gamma \leq 6$), но при $\gamma > 6$ это уменьшение происходит быстрее для сигнальных волн малой амплитуды ($0,01 \leq A_2(0) \leq 0,1$) и замедляется для $A_2(0) \geq 0,2$.

Полученные результаты могут быть использованы для оптимизации экспериментов по ОВФ попутных пучков. Проведенное рассмотрение справедливо для описания поведения сигнальной неплоской волны $A_2(R) \exp(i\Phi(R))$ как для центра пучка с симметрично искривленным волновым фронтом.

Автор благодарна Ф.В. Бункину и Д.В. Власову за предложенную тему и полезные обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ахманов С. А. и др. Изв. ВУЗов, серия радиофизика, 23, 1 (1980).
2. Зельдович Б. Я. и др. Письма в ЖЭТФ, 15, 160 (1972).
3. Yagiv A. Optics Comm., 21, 49 (1979).
4. Большов Л. А., Власов Д. В., Гараев Р. А. Квантовая электроника, 9, 1 (1982).
5. Соловьев В. Д., Хижняк А. И. Оптика и спектроскопия, 53, 723 (1982).

Институт общей физики АН СССР

Поступила в редакцию 6 января 1987 г.