

МНОГОФОТОННОЕ РЕЗОНАНСНОЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЧАСТОТЫ СИГНАЛА ВВЕРХ В НЕМОНОХРОМАТИЧЕСКОМ ПОЛЕ НАКАЧКИ

*Н.А.Искандеров, В.А.Кудряшов, И.Н.Матвеев,
Н.Д.Устинов*

Показано, что в немонохроматическом поле накачки светоиндуцированная релаксация должна приводить к распаду когерентного отклика среды и росту насыщающей интенсивности, оказывая существенное влияние на эффективность преобразования.

1. Исследование поведения высших оптических нелинейностей в резонансных условиях представляет интерес в связи с широкими прикладными и спектроскопическими задачами [1].

В настоящей работе, основываясь на модели двухуровневой среды, теоретически рассматривается процесс преобразования частоты сигнала вверх на нелинейной восприимчивости произвольного порядка при многофотонном резонансе заданного немонохроматического поля накачки с учетом движения населенностей, нестационарного отклика среды, штарковского сдвига уровней и ширины частотного спектра поля.

Необходимость такого подхода вызвана наметившейся тенденцией к реализации процессов преобразования частоты на нелинейных резонансных восприимчивостях все более высоких порядков в поле случайно модулированной накачки [2 – 5].

2. Укорачиванием самосогласованной полуклассической системы уравнений двухуровневой среды [6] получены уравнения для разности населенностей η , недиагонального элемента матрицы плотности σ_{12} и комплексной амплитуды преобразованного излучения A_l , возникающего при параметрическом преобразовании поля сигнала A_{l-1} на обобщенной восприимчивости $(l-1)$ порядка:

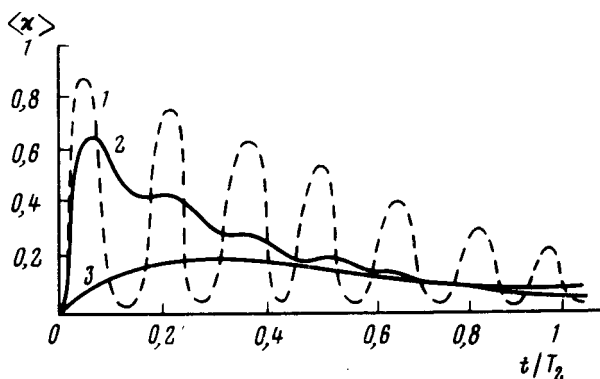
$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\eta - \eta_0}{T_1} = -4 \operatorname{Im} [\sigma_{12} (r_k \prod_{i=1}^k A_i^* + q_{lk} \kappa^{-1} A_l A_{l-1}^* \dots A_{l-k}^*)],$$

$$\frac{\partial \sigma_{12}}{\partial t} + \left(\frac{1}{T_2} + i\delta \right) \sigma_{12} = i\eta \left(r_k \prod_{i=1}^k A_i + q_{lk} \hbar^{-1} A_l A_{l-1}^* \dots A_{l-k}^* \right),$$

$$\frac{\partial A_l}{\partial z} + \frac{1}{u} \frac{\partial A_l}{\partial t} = i\gamma_l q_{lk} \sigma_{12} \prod_{i=k+1}^{i=l-1} A_i. \quad (1)$$

Здесь A_i — комплексная амплитуда поля накачки ($i \neq l-1$), $T_{1,2}$ — времена релаксации, r_k — составной матричный элемент k -фотонного перехода, q_{lk} — составной матричный элемент комбинационно-подобного перехода, частотная отстройка: $\delta = \omega_{12} - \sum_{i=1}^k \omega_i + \Omega$, $\Omega = \sum_{i=1}^l p_i |A_i|^2$ — штарковский сдвиг, $\gamma = 2\pi\omega_l N / \eta c$, ω_l — частота преобразованного излучения, N — концентрация частиц, η_l — линейная часть показателя преломления на частоте ω_l , u — скорость волны.

Эти уравнения явились исходными для анализа многофотонного преобразования частоты сигнала вверх с учетом некогерентности поля накачки и нестационарности процесса преобразования.



Временная эволюция средней эффективности преобразования при различной ширине частотного спектра поля D_i : 1 — $D_1 = 0$, 2 — $D_2 > D_1$, 3 — $D_3 > D_2$

3. С использованием процедуры усреднения стохастических дифференциальных уравнений, приведенной в [7], из (1) получены уравнения, описывающие временную эволюцию средней эффективности преобразования

$\langle \kappa \rangle = \dots \prod_{i=k+1}^{i=l-2} A_i A_i^* \sigma_{12} \sigma_{21} \rangle$ при мгновенном включении поля накачки с диффундирующей фазой. Соответствующие временные зависимости приведены на рисунке, из которого наглядно следует, что уширение частотного спектра поля накачки качественно изменяет картину преобразования. Если в монохроматическом поле резонансный отклик имеет когерентный характер (кривая 1), то в некогерентном поле светоиндуцированная релаксация приводит к распаду когерентного

взаимодействия и переходу к некогерентному режиму преобразования (кривые 2, 3). Пороговое значение интенсивности накачки, при котором возникают нутации средней эффективности преобразования, может быть оценено по формуле $I_{\text{нут}} \sim k \sqrt{k^4 D^2 T_1 T_2}$, где k – порядок резонанса, D – полуширина частотного спектра поля, лоренцевского по форме.

4. В установившемся режиме преобразования для вырожденного по частоте поля накачки при $\delta = 0$ средняя нормированная эффективность преобразования равна

$$\langle \kappa_k \rangle = \frac{a_2 l^{l-2}}{a_3 (1 + a_2 l^k / a_3) (1 + \beta l^k / a_4)}, \quad (2)$$

где l – нормированная к интенсивности насыщения $I_s = (1/4 T_1 T_2 r_k^2)^{1/k}$ интенсивность накачки, $a_{1,2} = T_{1,2}^{-1}$, $a_3 = a_2 + k^2 D$, $a_4 = a_1 + a_2 + k^2 D$, $a_5 = a_2 + 2 k^2 D$, $\beta = a_2 + a_1 / 2 + a_1 a_2 / 2 a_5$.

Из выражения (2) следует, что при выполнении соотношения $l - 2 > k$ максимальное среднее значение эффективности преобразования в некогерентном поле превосходит максимальную эффективность преобразования в монохроматическом поле

$$\frac{\langle \kappa_k^{\text{max}} \rangle}{\kappa_k^{\text{max}} (D = 0)} \sim k \sqrt{[(l - 2 - k) a_3 / a_2]^{l-2-k}} \quad (k < l - 2 < 2k) \quad (3)$$

$$\frac{\langle \kappa_k^{\text{max}} \rangle}{\kappa_k^{\text{max}} (D = 0)} = \frac{a_1 + a_2 + k^2 D}{a_2 + a_1 / 2 + a_1 a_2 / 2 a_5} \quad (l - 2 \geq 2k),$$

но достигается при больших интенсивностях накачки:

$$I_{\text{опт}} \sim I_{\text{опт}} (D = 0) k \sqrt{a_3 / a_2}. \quad (4)$$

5. Таким образом, при параметрическом преобразовании частоты на нелинейной восприимчивости произвольного порядка с возбуждением многофотонного резонанса некогерентным полем накачки следует ожидать, что в поле пико- и наносекундных импульсов накачки динамический выигрыш в величине средней эффективности преобразования из-за светоиндуцированной релаксации значительно уменьшается или вовсе отсутствует. А при реализации установившегося режима средняя стационарная эффективность преобразования может достичь значительно большей величины, чем в монохроматическом поле, что обусловлено ростом насыщающей интенсивности в некогерентном поле накачки.

Поступила в редакцию
15 апреля 1981 г.

Литература

- [1] С.А.Ахманов. Оптические нелинейности высших порядков. Кн. "Нелинейная спектроскопия", М., изд. Мир, 1979, стр. 323.
- [2] К.Н. Драбович, А.И.Ковригин, С.М.Першин, Н.М.Синявский, А.Л.Суровегин. Письма в ЖЭТФ, 32, 175, 1980.
- [3] К.Н.Драбович, М.Игнатавичюс, Р.Куприс, А.Мацулявичус, С.М.Першин, Н.М.Синявский, В.Смильгявичус, А.Л.Суровегин. Тезисы докладов X Всесоюзной конференции по когерентной и нелинейной оптике. М., 1980, ч. I, стр. 327.
- [4] Ю.Е.Дьяков, Н.А.Искандеров, В.А.Нехаенко. Сб. "Нелинейное резонансное преобразование частоты лазерного излучения". Ташкент, Изд. ФАН, 1979, стр. 49.
- [5] Н.А.Искандеров, В.А.Кудряшов, И.Н.Матвеев, Н.Д.Устинов. Тезисы докладов X Всесоюзной конференции по когерентной и нелинейной оптике. М., 1980, ч. II, стр. 210.
- [6] В.С.Бутылкин, Ю.Г.Хронопуло, Е.И.Якубович. ЖЭТФ, 71, 1712, 1976.
- [7] Ю.Е.Дьяков. Кр. сообщения по физике, ФИАН, 7, 49, 1971.
-