

## О ДИНАМИКЕ СВЕТОВЫХ ВОЛН В КОЛЬЦЕВОМ ПАРАМЕТРИЧЕСКОМ ВРМБ-ГЕНЕРАТОРЕ

Н.Е. Андреев, А.И. Зыков, В.Т. Тихончук

*Исследована динамика световых волн в ВРМБ-генераторе, образованном при самопересечении пучка лазерного излучения в нелинейной среде. Показано, что самодифракция падающей и прошедшей петлю обратной связи волн может приводить к уменьшению рассеяния и срыву ВРМБ-генерации.*

Кольцевой параметрический ВРМБ-генератор /1/ представляет интерес для обращения волнового фронта световых пучков /2, 3/ без использования дополнительных опорных волн. Генератор образован пересечением в нелинейной среде падающего извне светового пучка и этого же пучка, развернутого системой зеркал после прохождения через среду, и вновь падающего на среду под углом  $2\theta \ll 1$  к исходному (рис. 1б). В нелинейной среде происходит процесс ВРМБ. Благодаря наличию обратной связи этот процесс является абсолютной параметрической неустойчивостью, в результате которой возникает стоковая волна, распространяющаяся навстречу исходному световому пучку /4/.

Порог генерации и коэффициент стационарного нелинейного отражения назад определены в /5/ при учете одной звуковой волны, распространяющейся вдоль биссектрисы угла, образованного пучками накачки (отражательная решетка показателя преломления). Влиянием просветной решетки показателя преломления, созданной в результате интерференции световых пучков накачки, пренебрегалось.

В настоящей работе путем численного решения уравнений нелинейного взаимодействия изучена динамика ВРМБ в параметрическом кольцевом генераторе, в том числе и при учете просветной решетки.

Расчеты проводились по программе DSMBS /6/, предназначенной для описания ВРМБ в плазме, с граничными условиями, отвечающими кольцевому генератору. Поле в среде представлено в виде суперпозиции четырех волн: двух волн накачки  $\mathcal{E}_{0\pm 1} = E_{0\pm 1} \exp(-i\omega_0 t + ik_x x \pm ik_y y) + \text{к.с.}$  и двух рассеянных волн  $\mathcal{E}_{-1\pm 1} = E_{-1\pm 1} \exp(-i\omega_0 t - ik_x x \pm ik_y y) + \text{к.с.}$ ; распространяющихся им навстречу. Граничные условия  $E_{01}(x=0, t) = E_0(t)$ ,  $E_{0-1}(x=0, t) = rE_{0+1}(x=l, t - \tau)$ ,  $E_{-1-1}(x=l, t) = rE_{-11}(x=0, t - \tau)$  отвечали заданию поля накачки на входе в нелинейную среду, прохождению электромагнитных волн в петле обратной связи с коэффициентом пропускания  $r$  и временем запаздывания  $\tau$ . Возмущения показателя преломления  $\delta n$  описывались уравнениями акустики с пондеромоторной силой  $F \propto \nabla |\mathcal{E}_{01} + \mathcal{E}_{0-1} + \mathcal{E}_{-11} + \mathcal{E}_{-1-1}|^2$  и вязким затуханием звука ( $\gamma_s(k) \propto k^2$ ). Граничные условия отвечали свободному (без отражения) выходу звуковых волн из области взаимодействия.

Расчеты проводились для  $\theta = 0,05$  и  $0,07$  рад;  $r = 0,7$  и  $0,9$ ; интенсивность падающего излучения характеризовалась коэффициентом ВРМБ-усиления на одном проходе нелинейной среды  $\kappa = gI_0/\cos \theta$ , где  $g$  — инкремент ВРМБ-назад /7/,  $I_0$  — интенсивность падающего пучка на входе в нелинейную среду толщины  $l$ . Время запаздывания света в петле обратной связи  $\tau \approx 20 \text{ с}/\omega_0 v_s$ ,  $v_s$  — скорость звука. Выходящее излучение характеризовалось коэффициентами отражения  $R_- = |E_{-1-1}(x=0, t)/E_0(t)|^2$  и прохождения  $\Gamma_{\pm} = |E_{0\pm 1}(x=l, t)/E_0(t)|^2$ . Волна накачки включалась за время порядка периода звуковой волны ( $\Delta t \sim 5\text{ с}/\omega_0 v_s$ ), и затем ее интенсивность поддерживалась постоянной.

Прежде всего были проведены расчеты при учете нелинейного взаимодействия электромагнитных волн посредством лишь отражательной решетки  $\delta n_{20} \propto \exp(2ik_x x)$ . На рис. 1а приведена зависимость коэффициента отражения  $R_-$  от  $\kappa$ . Для  $\kappa \lesssim 6$  получено согласие с теоретическими результатами /5/ при учете не-взаимности в петле обратной связи  $|\varphi - 2\pi N| \lesssim 1$ , где  $\varphi = (\omega_0 - \omega)\tau$ ,  $\omega \approx \omega_0 - 2k_x v_s$  — частота рассеянной волны,  $N$  — целое число. За время порядка десяти обратных инкрементов неустойчивости возникало

нелинейное стационарное состояние, совпадающее с основной модой ВРМБ, описанной в /5/. При  $\kappa \geq 6$  это состояние оказывалось неустойчивым — возникали осцилляции коэффициента отражения с периодом порядка декремента затухания звуковой волны.

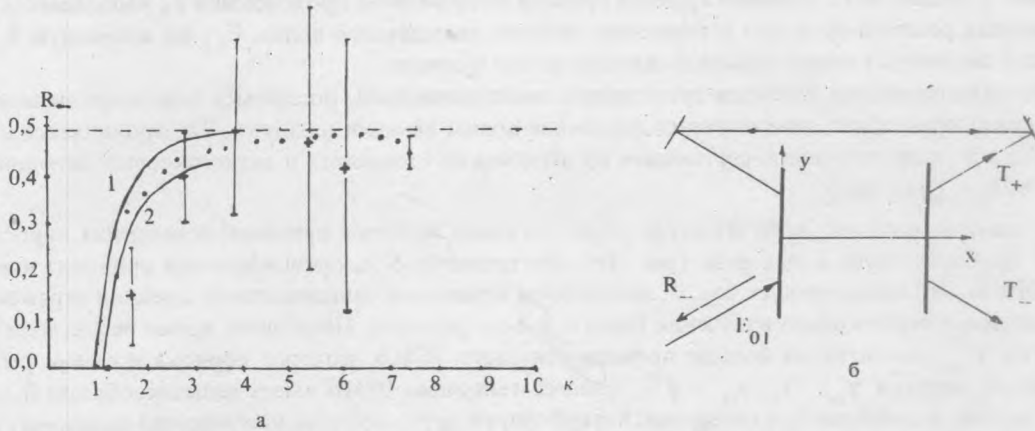


Рис. 1. а) Зависимость коэффициента отражения назад излучения в кольцевом параметрическом генераторе при  $\tau = 0,7$ ;  $\theta = 0,05$ ,  $\gamma_s(k_0)/\omega_s(k_0) = 0,07$ : — стационарная нелинейная теория /5/ при  $\varphi = 0$  (1) и  $0,75$  (2), • — стационарное значение  $R_-$ , полученное в настоящей работе при учете лишь одной отражательной решетки; + — среднее значение  $R_-$  за время  $\sim 100$  периодов ионно-звуковых колебаний, полученное в расчетах, учитывающих все возможные возмущения плотности; показана также средняя амплитуда колебаний в нестационарном режиме. б) Схема распространения волн.

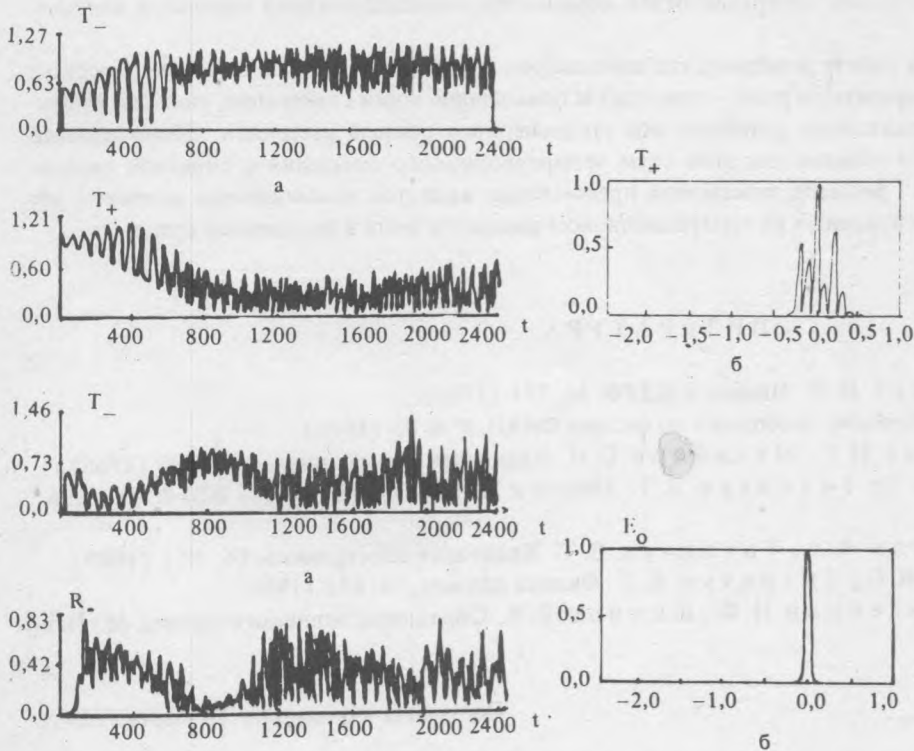


Рис. 3. а) Зависимости от времени прошедшего  $T_-$  и отраженного назад  $R_-$  излучения при возбуждении ВРМБ в кольцевом генераторе при  $\kappa = 2,99$ ,  $\tau = 0,7$ ,  $\theta = 0,05$ . б) Спектр падающего излучения. в) Спектр отраженного назад излучения; сдвинут на  $\omega_s = 2k_x v_s$  относительно падающего излучения. Модуляция спектра отраженного излучения обусловлена самодифракцией (см. рис. 2б).

Рис. 2. а) Зависимости от времени коэффициентов прохождения первичной и вторичной волн накачки при  $\kappa = 2,18$ ,  $\tau = 0,7$ ,  $\theta = 0,05$  в отсутствие ВРМБ (отражательная решетка  $\delta n_{20}$  выключена). Период осциллирующих коэффициентов прохождения  $\Delta t = \pi/k_y v_s$  совпадает с периодом звука с волновым вектором  $2k_y$ . б) Спектр прошедшего в кольцо излучения; расстояние между компонентами спектра равно  $2k_y v_s$ .

Рассмотрим ситуацию в отсутствие генерации ВРМБ, когда взаимодействие между двумя волнами накачки (самодифракция) происходит только благодаря светоиндуцированной просветной решетке показателя преломления  $\delta n_{0\pm 2} \propto \exp(\pm 2ik_y y)$ . Зависимости коэффициентов прохождения  $T_+(t)$  и  $T_-(t)$  приведены на рис. 2. Видно, что с течением времени средний коэффициент прохождения  $\bar{T}_+$  уменьшается — светоиндуцированная решетка приводит к перекачке энергии из падающей волны  $E_{01}$  во вторичную  $E_{0-1}$  и таким образом экранирует петлю обратной связи от волны накачки.

Процесс самодифракции является существенно нестационарным, поскольку благодаря наличию петли обратной связи происходит многократное рассеяние волны накачки на звуке. Это проявляется в спектре прошедшего в кольцо излучения, состоящего из нескольких стоксовых и антистоксовых спутников  $\omega_0 \pm \pm \omega_t$  ( $\omega_t = 2k_y v_s$  (рис. 2б)).

Эффект самовытеснения поля из петли обратной связи является причиной повышения порога генерации ВРМБ приблизительно в два раза (рис. 1а). Нестационарность самодифракции приводит к нестационарности ВРМБ. Это иллюстрирует рис. 3, на котором приведены зависимости от времени отраженного назад и прошедшего через кольцо излучения при учете всех решеток. Поскольку время релаксации просветной решетки  $\gamma_{st}^{-1}$  значительно больше времени генерации ВРМБ, которое порядка времени релаксации отражательной решетки  $\gamma_{sr}^{-1}$  ( $\gamma_{st}/\gamma_{sr} \cong \theta^2$ ), процесс генерации ВРМБ имеет вспышкообразный характер. Стоксовы волны, возникшие при генерации, интерферируя друг с другом, увеличивают амплитуду просветной решетки. Это, в свою очередь, увеличивает эффективность самодифракции волны накачки и уменьшает интенсивность прошедшего в кольцо излучения, а также увеличивает эффективность самодифракции рассеянного излучения и уменьшает интенсивность выходящего назад излучения.

Обнаруженные особенности генерации ВРМБ при наличии просветной решетки и зависимости  $R_-(t)$  и  $T_-(t)$  качественно подобны наблюдавшимся экспериментально [2]. Это подтверждает высказанное в [2] предположение о том, что подавление генерации ВРМБ обусловлено самодифракцией накачки в нелинейной среде.

Таким образом, в настоящей работе показано, что самодифракция световых пучков в параметрическом кольцевом генераторе играет паразитную роль — приводит к повышению порога генерации, снижает эффективность ВРМБ-конверсии, препятствует установлению стационарного режима рассеяния. Обнаруженный эффект, по-видимому, является общим для всех схем четырехволнового смещения с обратной связью. Поэтому подавление "лишних" решеток показателя преломления является необходимым условием эффективной работы устройств, основанных на четырехволновом смещении волн в нелинейной среде.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Одинцов В. И., Рогачева Л. Ф. Письма в ЖЭТФ, 36, 281 (1982).
2. Заскалько О. П. и др. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 8, 43 (1986).
3. Аникеев Н. Ю., Зубарев И. Г., Михайлов С. И. Квантовая электроника, 13, 2320 (1986).
4. Зозуля А. А., Силин В. П., Тихончук В. Т. Письма в ЖЭТФ, 38, 48 (1983); ЖЭТФ, 86, 1296 (1984).
5. Жанузак М. Г., Зозуля А. А., Тихончук В. Т. Квантовая электроника, 16, № 1 (1989).
6. Андреев Н. Е., Силин В. П., Тихончук В. Т. Физика плазмы, 14, 851 (1988).
7. Зельдович Б. Я., Пилипецкий Н. Ф., Шкунов В. В. Обращение волнового фронта. М., Наука, 1986.

Поступила в редакцию 23 марта 1989 г.