

АБСОЛЮТНАЯ НЕУСТОЙЧИВОСТЬ ВСТРЕЧНЫХ ВОЛН В ОТСУТСТВИЕ ЧАСТОТНОЙ ВОЛНОВОЙ РАССТРОЙКИ

*И.Ю.Аникеев, Д.А.Глазков, И.Г.Зубарев,
С.И.Михайлов*

Впервые получены режим абсолютной неустойчивости в условиях нулевой частотной расстройки и высокие коэффициенты отражения $5 \cdot 10^6$ при энергии входного сигнала 10^{-10} Дж. Наблюдались два режима абсолютной неустойчивости взаимодействующих волн: с подачей внешнего сигнала и без него.

Процессы четырехволнового смещения находят широкое применение в экспериментах по обращению волнового фронта излучения. Использование в этих целях мандельштам-бриллюэновской нелинейности позволило реализовать ОВФ с максимальным для указанных экспериментов коэффициентом отражения сигнала $\sim 7 \cdot 10^5$. Оказалось, что такие большие коэффициенты отражения обусловлены абсолютной неустойчивостью взаимодействующих волн^{2, 3}. При этом режим абсолютной неустойчивости реализуется только при определенных значениях инкрементов усиления указанных волн в поле встречных опорных волн накачки, и эти инкременты минимальны при наличии волновой расстройки³. До сих пор режим абсолютной неустойчивости волн и оптимальную волновую расстройку удавалось получать только при частотной развязке встречных опорных волн³, когда разность частот встречных опорных волн ($\omega_0^+ - \omega_0^-$) не совпадает с мандельштам-бриллюэновским сдвигом для активной среды Ω :

$$\omega_0^+ - \omega_0^- \neq \Omega.$$

При равной нулю частотной волновой расстройке получению режима распада встречных волн накачки и стоксова сигнала, а значит и достижению высоких коэффициентов отражения в системах ОВФ слабых сигналов препятствуют два фактора: относительно высокий порог абсолютной неустойчивости^{2, 3} и паразитная перекачка энергии опорной волны накачки в опорную стоксову волну из-за недостаточно хорошей развязки по поляризации этих волн^{4, 5}. Именно поэтому экспериментально абсолютная неустойчивость при нулевой частотной волновой расстройке до сих пор не наблюдалась, а максимально достижимый коэффициент отражения внешнего сигнала не превышал 20⁴. В настоящей работе нам удалось реализовать режим абсолютной неустойчивости волн при четырехволновом смещении для нулевой частотной волновой расстройки, когда

$$\omega_0^+ - \omega_0^- = \Omega.$$

При этом проведенный теоретический анализ и эксперименты показали, что необходимую волновую расстройку можно обеспечить угловой расстройкой встречных опорных волн накачки.

Для получения режима абсолютной неустойчивости необходимо обеспечить такие условия, чтобы встречные опорные волны накачки прямо не взаимодействовали друг с другом в активной среде. При нулевой частотной волновой расстройке для мандельштам-бриллюэновской нелинейности эти волны можно развязать только по поляризации.

В настоящей работе для улучшения развязки опорных волн по поляризации нами был использован независимый источник стоксовой опорной волны, излучение которого пропускалось через призму Глана-Томсона, скрещенную с плоскостью поляризации излучения накачки. Это с одной стороны резко улучшило качество развязки, а с другой — появилась возмож-

ность варьировать направление ввода стоксовой волны по отношению к встречной волне накачки. В нашем случае волновая расстройка определяется следующим выражением:

$$\Delta k = \Delta k_{\text{част}} + \Delta k_{\text{простр}} = (\omega_0^+ + \omega_1^- - \omega_0^- - \omega_1^+) / v_0 - k \vec{\theta}_c \vec{\theta}_{\text{оп}}. \quad (1)$$

Здесь $\omega_0^+, \omega_0^-, \omega_1^-, \omega_1^+$ — частоты взаимодействующих волн (рис. 1), v_0 — скорость света в активной среде, k — модуль волнового вектора, $\vec{\theta}_c = \mathbf{k}_{1\perp}^+ / k$ — векторный угол между направлениями опорной волны накачки и сигнала, а $\vec{\theta}_{\text{оп}} = \mathbf{k}_{0\perp}^- / k$ — векторный угол отстройки опорного стоксова сигнала от направления точно навстречу опорной волне накачки (рис. 1). Отметим, что частотная и пространственная части в Δk могут взаимно компенсировать друг друга при соответствующем выборе частот и углов взаимодействующих волн. При выводе (1) учитывалась малость частотного сдвига между взаимодействующими волнами и малость углов $\vec{\theta}_c$ и $\vec{\theta}_{\text{оп}}$. В остальном динамические уравнения, описывающие ситуацию, изображенную на рис. 1, полностью эквивалентны использованным авторами ^{2, 3}.

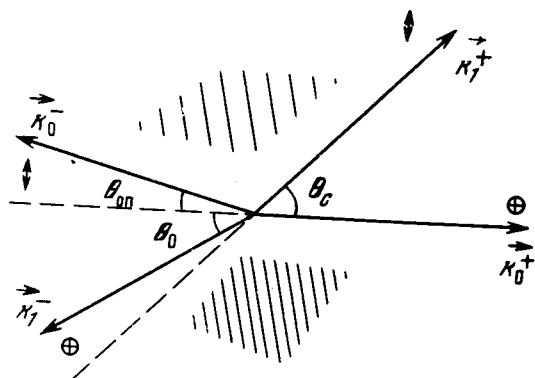


Рис. 1. Диаграмма волновых векторов, иллюстрирующая процесс четырехволнового взаимодействия. \mathbf{k}_0^\pm — волновые векторы опорных волн накачек, \mathbf{k}_1^\pm и \mathbf{k}_1^- — волновые векторы сигнальной и обращенной волн

Режим абсолютной неустойчивости взаимодействующих волн можно наблюдать двояко: с подачей внешнего сигнала и без него. В последнем случае на среду падают только две встречные опорные волны накачки, а "сигнальная" и "обращенная" волны рождаются в среде в процессе абсолютной неустойчивости (генерации) с уровня спонтанных шумов. Эксперименты проводились как в варианте генерации из спонтанных шумов, так и для ОВФ внешнего сигнала. Источником накачки служило одномодовое одностороннее излучение $\text{Nd}^{3+} : \text{YAG}$ -лазера с длительностью импульса 30 нс по полувысоте и энергией до 100 мДж. В качестве опорной стоксовой волны использовалась часть того же излучения, обращенная во вспомогательной кювете с поляризацией, ортогональной к поляризации накачки. Взаимодействующие волны смешивались в кювете длиной 20 см. Обе кюветы были заполнены сероуглеродом, поэтому

$$\Delta k_{\text{част}} = 0, \quad \Delta k = \Delta k_{\text{простр}} = -k \vec{\theta}_c \vec{\theta}_{\text{оп}}. \quad (2)$$

На рис. 2 представлены зависимости коэффициента отражения сигнальной волны, нормированного на максимальный, от величины волновой расстройки: а) при больших инкрементах усиления ~ 25 ; б) при малых ~ 1 . Хорошо видно, что при малых инкрементах отстройка по углу опорной стоксовой волны приводит к падению коэффициента отражения и, напротив, при больших инкрементах в данном диапазоне изменения волновой расстройки наблюдаются два максимума, которые соответствуют минимальным значениям порогов абсолютной неустойчивости ³. Отметим, что максимально достигнутый нами коэффициент отражения сигнальной волны составлял $5 \cdot 10^6$ при энергии входного сигнала 10^{-10} Дж.

На рис. 3 представлены аналогичные зависимости для энергии генерации в режиме абсолютной неустойчивости в отсутствие внешнего сигнала. В случае а) угловая апертура кало-

риметра составляла $5 \cdot 10^{-2}$ рад, а в случае б) — $5 \cdot 10^{-4}$ рад, причем в б) апертура калориметра была ориентирована под углами $\theta_0 = 0,8 \cdot 10^{-2}$ и $\theta_0 = 1,6 \cdot 10^{-2}$ рад (рис. 1). Хорошо видно, что энергия генерации, принимаемая в широком угле видения практически не зависит от угла между опорными волнами, а в узком угле видения зависимость носит резонансный характер, причем значение оптимального угла $\theta_{оп}$ примерно обратно пропорционально значению угла θ_0 . При $\theta_{оп} \ll \theta_0$, когда $\theta_c \equiv \theta_0 + \theta_{оп} \approx \theta_0$ (рис. 1), что соответствует экспериментальной ситуации, этот факт подтверждает формулу (2). С другой стороны он указывает на то, что диаграмма направленности излучения состоит из двух полос, расположенных относительно направления излучения опорной волны накачки с углами отклонения $\theta_{оп} \pm \theta_c$, соответствующими минимальному значению порога неустойчивости.

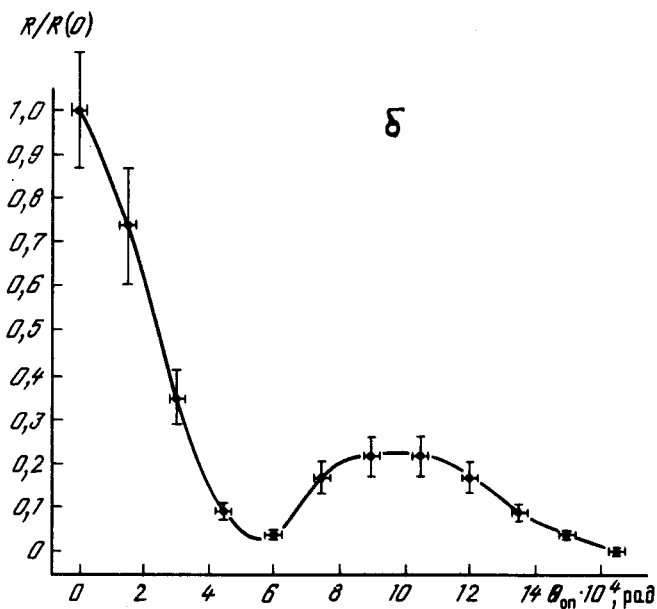
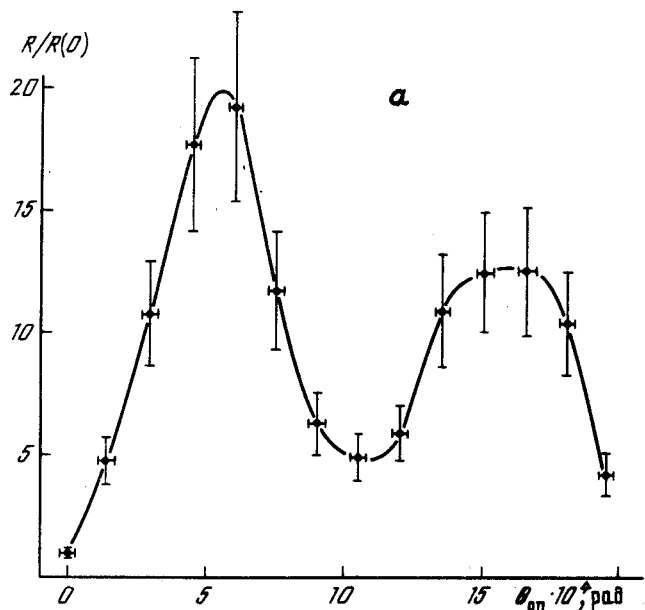


Рис. 2. Зависимость нормированного коэффициента отражения сигнальной волны $R/R(0)$ от угловой расстройки опорных волн $\theta_{оп}$ для случаев превышения (а) и недостатка (б) порога абсолютной неустойчивости

Таким образом, в настоящей работе впервые получен режим абсолютной неустойчивости в условиях нулевой частотной расстройки и получены высокие коэффициенты отражения

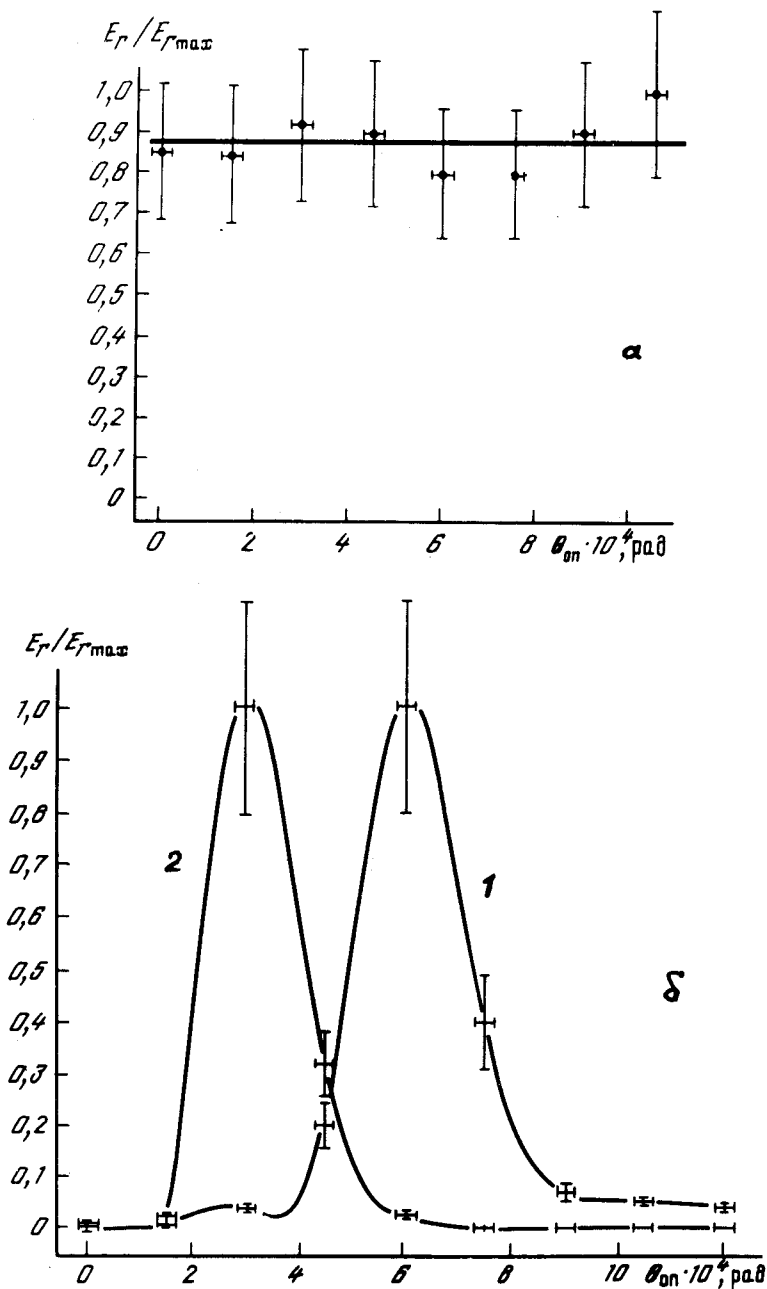


Рис. 3. Зависимость нормированной энергии генерации при распаде опорных волн накачки $E_r/E_{r_{max}}$ от их угловой расстройки $\theta_{оп}$: а – угловая апертура приемного калориметра $5 \cdot 10^{-2}$ рад; б – угловая апертура приемного калориметра $5 \cdot 10^{-4}$ рад; 1 – $\theta_0 = 0,8 \cdot 10^{-2}$ рад, 2 – $\theta_0 = 1,6 \cdot 10^{-2}$ рад

$\sim 5 \cdot 10^6$ слабого сигнала с поворотом диаграммы направленности на $\theta_{оп}$ относительно направления "точно назад". Показано, что с помощью угловой расстройки встречных опорных волн накачки можно плавно менять величину волновой расстройки и осуществлять селективное по углам отражение внешнего сигнала.

Литература

1. *Андреев Н.Ф., Беспалов В.И., Киселев А.М. и др.* Письма в ЖЭТФ, 1980, 32, 639.
2. *Зельдович Б.Я., Шкунов В.В.* Квантовая электроника, 1982, 9, 393.
3. *Андреев Н.Ф., Беспалов В.И., Киселев А.М. и др.* ЖЭТФ, 1982, 82, 1047.
4. *Бубис Е.Л., Пасманик Г.А., Шилов А.А.* Квантовая электроника, 1983, 10, 1488.
5. *Ефимков В.Ф., Зубарев И.Г., Михайлов С.И. и др.* Квантовая электроника, 1984, 11, 303.

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

Поступила в редакцию
2 ноября 1988 г.
