

## ОБРАЩЕНИЕ ВОЛНОВОГО ФРОНТА СЛАБЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ С БОЛЬШИМ КОЭФФИЦИЕНТОМ ОТРАЖЕНИЯ

*Н.Ф. Андреев, В.И. Беспалов, А.М. Киселев,  
А.З. Матвеев, Г.А. Пасманик, А.А. Шилов*

Выявлены возможности значительного (до  $\sim 10^5$  и более) увеличения коэффициента отражения слабых сигналов при обращении их волнового фронта в нелинейных средах. Обнаружены эффекты насыщения, при которых интенсивность обращенной волны слабо зависит от интенсивности падающего сигнала и определяется, главным образом, интенсивностью накачки.

1. Исследование возможностей обращения волнового фронта (ОВФ) предельно слабых сигналов с большим коэффициентом отражения  $R$  важно как для выявления физических особенностей нелинейных процессов, лежащих в основе самого явления ОВФ, так и для использования этого явления в научных и прикладных исследованиях, например, для диагностики объекта по его светорассеянию или тепловому излучению и т.п. Создание обращающих зеркал с большими значениями  $R$  позволило бы также существенно упростить системы формирования мощного оптического излучения.

Однако достижению высокой чувствительности и больших коэффициентов отражения при ОВФ мешает их самовозбуждение из-за развития неустойчивостей при параметрическом смещении световых волн. По-видимому, это основная причина того, что практически во всех процессах, основанных на параметрическом смещении световых волн, максимально достижимые значения  $R$  не превышали нескольких единиц [1, 2] (при ОВФ в зеркале на вынужденном рассеянии Мандельштама – Бриллюэна (ВРМБ)  $R < 1$  [3, 4]). Исключением являются лишь эксперименты [5], где с помощью перестраиваемого лазера, специально осуществляющего подстройку частоты излучения в резонанс с собственной частотой перехода паров натрия ( $D$  – линия,  $\lambda = 0,59$  мкм) удалось достигнуть  $R \approx 10^2$ .

В настоящей работе приведены результаты экспериментальных исследований процесса ОВФ, в котором за счет существенного уменьшения уровня затравочных неустойчивостей до величины, определяемой только тепловыми шумами в полосе взаимодействия, удалось резко снизить энергию подлежащих обращению сигналов и получить значения коэффициента отражения  $R \gg 10^5$ , т.е. многократно превосходящие достигнутые ранее. Эти результаты получены с использованием четырехфотонного комбинационного взаимодействия, в котором ОВФ осуществлялось за счет рассеяния в стоксов сателлит мощной накачки  $\mathcal{E}_1^+$  на гиперзвуковой волне, возбуждаемой более слабой встречной накачкой  $\mathcal{E}_1^-$  и подлежащей обращению сигнальной волной  $\mathcal{E}_2^+$  с антистоксовым (относительно накачки) смещением частоты (рис. 1, а). Эффективность работы обращающего зеркала, основанного на указанном процессе, слабо зависит от средней частоты оптического излучения и поэтому оно может быть применено в широком диапазоне длин волн.

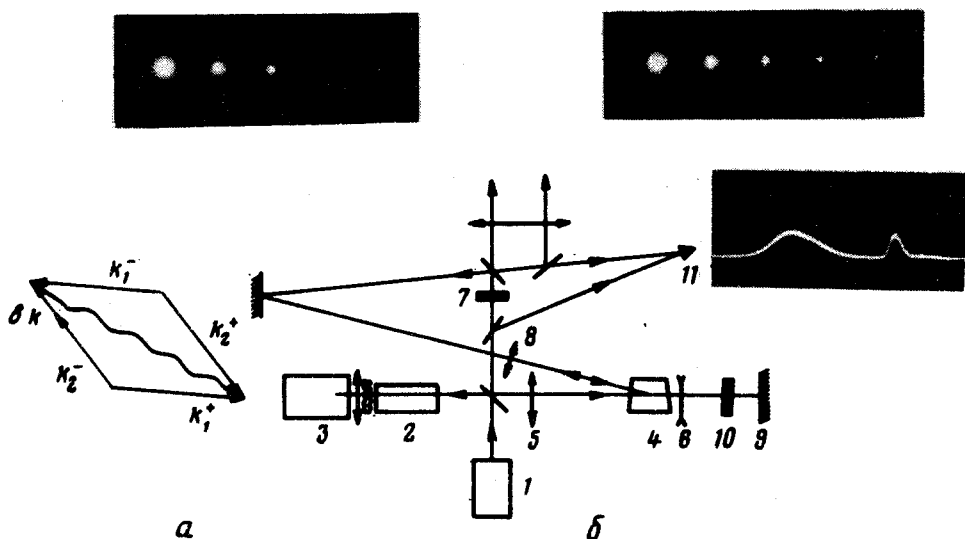


Рис.1. Схема эксперимента. Угловой спектр регистрировался с использованием зеркального клина

2. Схема эксперимента представлена на рис.1, б. Одномодовый луч неодимового лазера 1 на фосфатном стекле (длительность импульса 33 нсек) с фарадеевской развязкой делился на два пучка (диаметр  $d_0 = 0,5$  см), один из которых после усиления в усилителе 2 и ОВФ в ВРМБ-зеркале с ацетоном 3 служил одной из накачек четырехфотонного зеркала 4, расположенного внутри телескопа, образованного линзами 5 и 6 (диаметр пучков накачки в кювете 4  $d_1 = 0,15$  см). Другой пучок после ослабления фильтром 7 и оптической задержки фокусировался линзой 8 ( $F = 133$  см) и одновременно с накачкой заводился под углом  $1,5 \cdot 10^{-2}$  рад. в кювету 4, также заполненную ацетоном (длина кюветы  $L = 3$  см). Этот пучок служил антистоксовой (по отношению к накачке) сигнальной волной  $\mathcal{E}_2^+$ , которая вместе со встречной накачкой  $\mathcal{E}_1^-$ , отраженной от стеклянной пластинки 9 и ослабленной фильтром 10 за два прохода примерно в 400 раз, раскачивала гиперзвуковую волну. Рассеяние мощной накачки  $\mathcal{E}_1^+$  на этой волне приводило к возбуждению обращенной волны  $\mathcal{E}_2^-$ . Для предотвращения ВРМБ в кювете 3 встречной накачки  $\mathcal{E}_1^-$  использовалась поляризационная развязка (на рисунке не указана).

Длительность рассеянного импульса была короче импульса сигнальной волны и составляла  $\sim 12$  нсек (рис.1, б). Пиковая мощность  $P_{2(\circ)}^-$  отраженной от четырехфотонного зеркала волны и коэффициент отражения  $R = P_{2(\circ)}^- / P_{2(\circ)}^+$  имели при фиксированной мощности  $P_{2(\circ)}^+$  слабого входного сигнала явно выраженную пороговую зависимость от интенсивности накачки  $I_1^+$  (рис.2 и рис.3).

Из рис.2 видно, что при достаточно большой интенсивности накачки с уменьшением мощности падающего сигнала  $P_{2(\circ)}^+$  от 130 до 1,5 Вт мощность обращенного сигнала  $P_{2(\circ)}^-$  падает всего в 4 – 5 раз. Максимальный коэффициент преобразования мощной накачки в обращенную волну был  $\sim 10\%$ , что в несколько раз превышает отношение сечений

пучков сигнальной волны  $\mathcal{E}_2^+$  и накачки  $\mathcal{E}_1^+$ . Это указывает на насыщение процесса четырехфотонного взаимодействия вследствие истощения волны  $\mathcal{E}_1^+$  в области ее перекрытия с падающей  $\mathcal{E}_2^+$  и обращенной  $\mathcal{E}_2^-$  волнами.

В проведенных экспериментах расходимость падающей на четырехфотонное зеркало волны была близка к дифракционной и составляла величину  $1,5 \cdot 10^{-4}$  рад (рис.1). Угловой спектр обращенной волны также состоял из дифракционного лепестка с расходимостью  $2 \cdot 10^{-4}$  (рис.1).

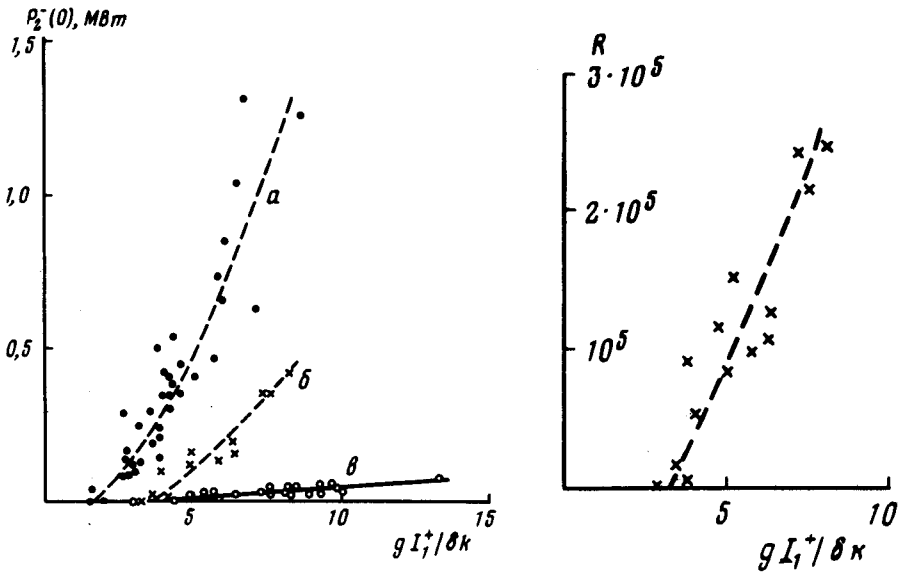


Рис.2. Зависимость мощности обращенной волны  $P_{2(0)}^-$  от интенсивности накачки  $I_1^+$  при фиксированной мощности сигнальной волны  $P_{2(0)}^+$  ( $a - P_{2(0)}^+ = 130 \pm 50$  Вт,  $б - P_{2(0)}^+ = 1,5 \pm 0,3$  Вт,  $в -$  мощность шумового излучения при  $P_{2(0)}^+ = 0$ );  $g$  — инкремент ВРМБ в ацетоне, нормированный на единицу длины и единицу интенсивности,  $\delta k = 4\pi\Delta\nu$  — волновая расстройка,  $\Delta\nu = 0,09$  см $^{-1}$  — ВРМБ-сдвиг в ацетоне

Рис.3. Зависимость коэффициента отражения  $R$  четырехфотонного зеркала от интенсивности накачки  $I_1^+$  при фиксированной мощности сигнальной волны  $P_{2(0)}^+ = 1,5 \pm 0,3$  Вт

3. В отсутствие сигнальной волны  $\mathcal{E}_2^+$  в угле регистрации полезного сигнала ( $\sim 10^{-2}$ ) наблюдалось шумовое излучение четырехфотонного зеркала, мощность которого пороговым образом зависела от интенсивности накачки (см. сплошную кривую на рис.2,  $a$ ). Происхождение этого излучения связано с ВРМБ в поле двух встречных накачек  $\mathcal{E}_1^+$  и  $\mathcal{E}_1^-$ . Интересно отметить, что при перекрытой накачке  $\mathcal{E}_1^-$  в условиях обычного ВР мощность шумового излучения заметно возрастала. Это указывает на то, что даже слабая встречная накачка уменьшает интенсивность ВРМБ мощной накачки  $\mathcal{E}_1^+$ .

Из-за наличия шумового излучения отражение полезного сигнала от четырехфотонного зеркала уверенно регистрировалось только тогда,

когда мощность  $P_2^+$  падающей волны  $\mathcal{E}_2^+$  была больше некоторого минимального значения  $P_{2m}^+$ . Мощность  $P_{2m}^+$  возростала с увеличением интенсивности накачки  $\mathcal{E}_1^+$  и для значений параметра  $gl_1^+ / \delta k \approx 10 - 12$  достигала величины  $P_{2m}^+ \approx 0,1$  Вт. Когда мощность падающего сигнала  $P_2^+ = 0,4$  Вт всего в несколько раз превышала величину  $P_{2m}^+$ , было получено наибольшее в нашем эксперименте значение  $R \approx 7 \cdot 10^5$ .

Увеличение  $P_{2m}^+$  с ростом  $gl_1^+ / \delta k$  связано с различием радиусов обращенного пучка  $\mathcal{E}_2^-$  и пучка шумового излучения. В ненасыщенном режиме такое различие не играет существенной роли. Однако в условиях насыщения относительно широкий пучок шумового излучения может иметь большую интегральную мощность, чем интенсивный, но более узкий пучок обращенной волны. Поэтому для получения возможно меньших значений  $P_{2m}^+$  необходимо использовать достаточно широкие пучки сигнальной волны или реализовать условия, когда эффекты насыщения несущественны. При этом, однако, надо иметь в виду, что в диапазоне параметров, где отсутствуют эффекты насыщения по входному сигналу, для стабильной регистрации энергетических характеристик обращенной волны в различных экспериментах необходимо поддерживать с высокой точностью уровень интенсивности накачки.

Поступила в редакцию  
8 октября 1980г.

## Литература

- [1] D.M.Pepper, D.Fekete, A.Yariv. Appl. Phys. Lett., 33, 41, 1978.
- [2] В.И.Беспалов, А.А.Бетин, А.И.Дятлов, С.Н.Кулагина, В.Г.Манишин, Г.А.Пасманик, А.А.Шилов. ЖЭТФ, 79, 378, 1980.
- [3] Б.Я.Зельдович, В.И.Поповичев, В.В.Рагульский, Ф.С.Файзуллоев. Письма в ЖЭТФ, 15, 1660, 1972.
- [4] Н.Г.Басов, В.Ф.Ефимков, И.Г.Зубарев, А.В.Котов, С.И.Михайлов, М.Г.Смирнов. Квантовая электроника, 6, 394, 1979.
- [5] D.M.Bloom, P.F.Liao, N.P.Economu. Opt. Lett., 2, 58, 1978.