

ШУМОВЫЕ МОДУЛЯЦИИ ИНТЕНСИВНОСТИ РАСSEЯННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ВРМБ В ОДНОМОДОВОМ ОПТИЧЕСКОМ ВОЛОКНЕ В РЕЖИМЕ СИЛЬНОГО ИСТОЩЕНИЯ НАКАЧКИ

А.А.Фотиади, Е.А.Кузин

Физико-технический институт им.А.Ф.Иоффе РАН,
194021, Санкт-Петербург, Россия
(Поступило в Редакцию 12 октября 1994 г.)

Введение

Шумовой характер спонтанного затравочного излучения при вынужденном рассеянии Мандельштама–Бриллюэна (ВРМБ) может приводить к появлению случайных модуляций интенсивности рассеянного света [1–6]. Глубина таких модуляций в значительной степени определяется режимом протекания ВРМБ. Глубокие (до 100%) модуляции интенсивности стока сигнала наблюдались в одномодовых оптических волокнах при ВРМБ без истощения накачки [2]. При ВРМБ с истощением накачки процесс развития спонтанных шумовых флуктуаций существенным образом зависит от соотношения параметров T_1 — времени пробега света по эффективной длине усиления ВРМБ и T_2 — времени релаксации гиперзвука в среде волокна [3,4]. При $T_1/T_2 \gg 1$ флуктуации спонтанного стока излучения эффективно усиливаются и приводят к глубоким модуляциям интенсивности рассеянного света. При $T_1/T_2 \sim 1$ обычно наблюдают сглаживание модуляций. Важно, что в упомянутых экспериментальных и численных реализациях процесса ВРМБ [2–4] сохраняется гауссов закон статистического распределения флуктуаций амплитуды стока поля, а корреляционная функция интенсивности процесса близка к гауссовой кривой.

В работе [5] при $T_1/T_2 \sim 1$ мы наблюдали необычные, почти периодические модуляции стока сигнала ВРМБ с глубиной модуляции до 100% и периодом, близким к T_2 . В настоящей работе мы рассмотрим качественное развитие картины ВРМБ при $T_1/T_2 \gg 1$ и $T_1/T_2 \sim 1$ в различных экспериментальных условиях и приведем результаты корреляционного анализа полученных в [5] экспериментальных реализаций ВРМБ.

1. В нашем рассмотрении мы исходили из предположения, что процесс усиления спонтанных шумовых флуктуаций при ВРМБ в режиме сильного истощения накачки существенным образом зависит не только от соотношения параметров T_1 и T_2 , но и T_3 — характерного временного масштаба флуктуаций. Схематически этот процесс выглядит следующим образом. Зарожденный из шума спонтанный сток сигнала по мере распространения по волокну проходит два основных этапа своего развития (рис. 1,а). На первом этапе он распространяется в поле передней нерассеивающейся части импульса накачки — “предвестника” (область III), где происходит его усиление в $\sim e^{16}$ раз, а спектр

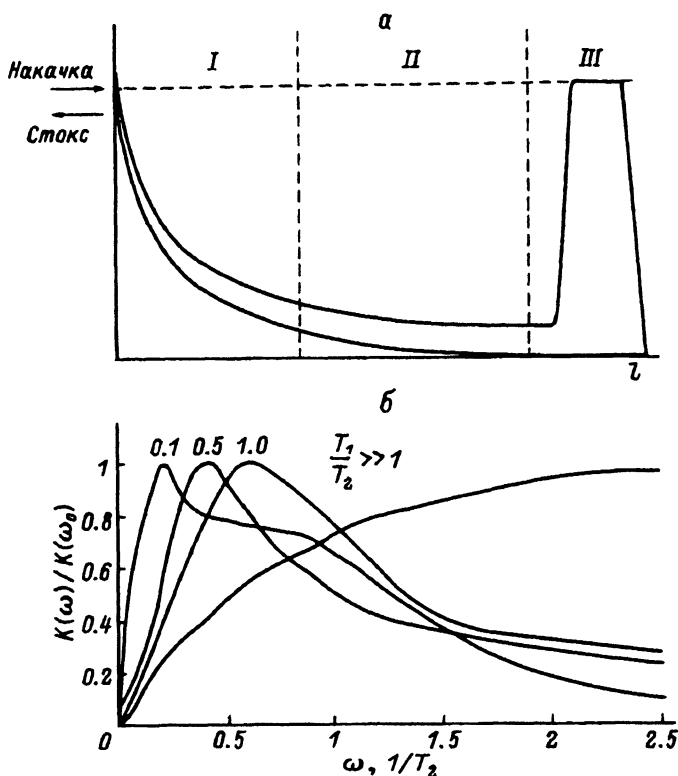


Рис. 1. Характерное распределение средних интенсивностей накачки и стока излучения по длине оптического волокна l при ВРМБ с сильным истощением накачки (а) и амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) $K(\omega)$ области усиления (б).

I — область ВРМБ усилителя, II — область слабого взаимодействия волн, III — область “предвестника”.

его меняется. Процесс ВРМБ в этой области соответствует “бегущему” режиму ВРМБ [2]. Поэтому преобразование спектра “предвестником” происходит без изменения его гауссовой формы. Однако в зависимости от длительности предвестника возможно как сужение начального спектра стока сигнала в 4 раза ($T_3 \sim 4T_2$) при длинном предвестнике, так и его уширение до 10 раз ($T_3 \sim T_2/10$) при коротком предвестнике.

Свое окончательное усиление стоков сигнал получает в области истощения накачки вблизи входного торца волокна (область I). Хотя само усиление в этой области небольшое, но именно здесь происходит основная перекачка энергии из накачки в рассеянный сигнал. По сути эта область представляет собой ВРМБ усилителя, работающий в существенно нестационарном режиме. В работе [7] мы получили выражение для амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) такого усилителя, характеризующей усиление гармонических флуктуаций стока сигнала (рис. 1, б). На ее основе можно понять качественное различие динамики ВРМБ в режиме истощения накачки при различных предельных значениях T_1/T_2 с учетом T_3 .

При $T_1/T_2 \gg 1$ АЧХ области I имеет вид гладкой кривой с широкой полосой усиления и, следовательно, область I не вносит значительных изменений в спектральный состав стокова сигнала. Таким образом, временная структура рассеянного излучения в этом случае полностью определяется процессом усиления шумового излучения в области "предвестника".

При $T_1/T_2 \sim 1$ АЧХ имеет четко выраженный максимум на частоте $\sim 1/T_2$. Это означает, что область истощения обладает свойством селективного усиления только тех флуктуаций стокова сигнала, для которых $T_3 \sim T_2$. В этом случае в зависимости условий эксперимента возможно качественно различное временное поведение стокова сигнала при ВРМБ. При ВРМБ с длинным "предвестником", когда $T_3 \sim 4T_2$, флуктуации стокова сигнала, поступающего в область I , не попадают в область эффективного усиления АЧХ и, таким образом, происходит сглаживание модуляций выходного стокова сигнала, которое обычно и наблюдают.

При ВРМБ с "коротким" предвестником возможна ситуация, когда $T_3 \sim T_2$. Такие флуктуации могут эффективно усиливаться в области I и проявляться в виде глубоких модуляций интенсивности выходного стокова сигнала. Именно такие модуляции мы наблюдали в [5].

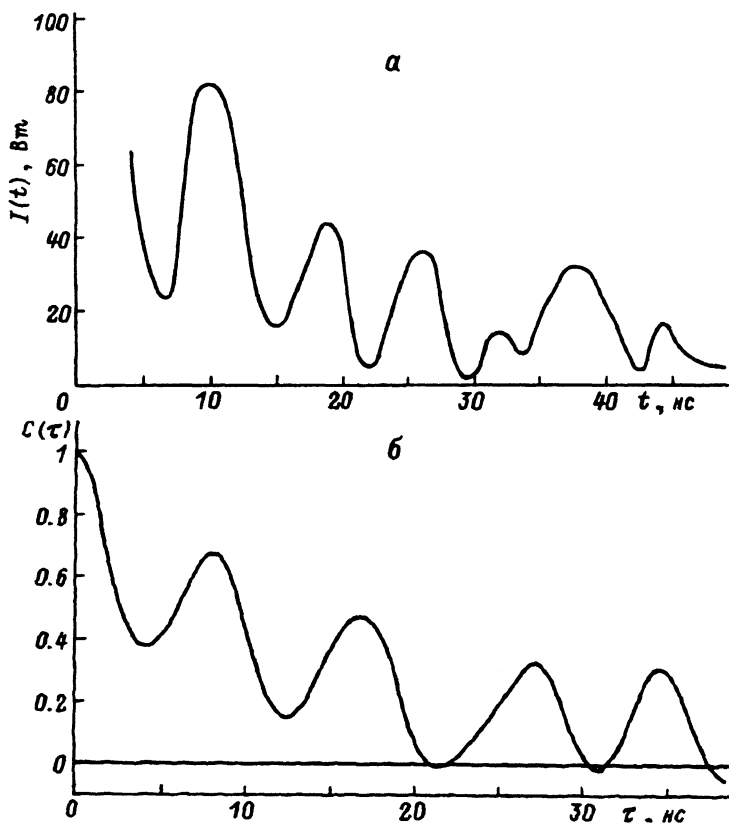


Рис. 2. Характерная осциллограмма стокова сигнала $I(t)$ (а) и соответствующая ей корреляционная функция $C(\tau)$ (б):

Далее мы рассмотрим результаты корреляционного анализа полученных в [5] экспериментальных данных и покажем, что корреляционная функция интенсивности стокового сигнала в этом случае существенно отличается от гауссовой.

2. Для корреляционного анализа нами были отобраны восемь осциллограмм выходного стокового сигнала, полученных в [5] при условии $T_1/T_2 \sim 1$ и одинаковой длительности предвестника $T_{пр} \sim 4T_2$, что, согласно [2], соответствует условию $T_3 \sim T_2$. Характерная осциллограмма из этого набора представлена на рис. 2,а. Для каждой такой осциллограммы была рассчитана нормированная корреляционная функция $C(\tau)$

$$C(\tau) = \langle I(t+\tau)I(t) \rangle / \langle I(t+\tau) \rangle \langle I(t) \rangle - 1,$$

где $I(t)$ — временная зависимость интенсивности стокового сигнала, скобки означают усреднение по времени.

Характерная корреляционная функция для приведенной выше реализации стокового сигнала показана на рис. 2,б. Хорошо видно, что на фоне общего экспоненциального спада с характерным временем ~ 25 нс, связанного с длительностью импульса накачки в эксперименте, она содержит в себе четко выраженную гармоническую составляющую с периодом, близким ко времени релаксации гиперзвука в среде. Такая

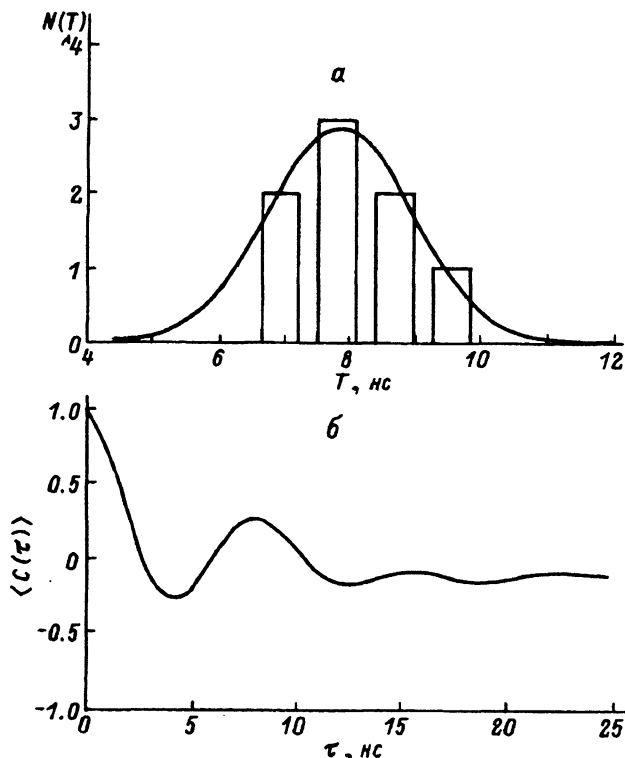


Рис. 3. Гистограмма распределения числа реализаций N стокового сигнала по периодам T гармонической составляющей их корреляционных функций (а) и усредненная по восьми реализациям корреляционная функция стокового сигнала $\langle C(\tau) \rangle$ (б).

же гармоническая составляющая присутствует во всех корреляционных функциях, полученных для остальных реализаций стоковского сигнала. Однако период этой составляющей в корреляционных функциях для различных реализаций различен, хотя и остается близким к T_2 . На рис. 3,а представлена гистограмма распределения отдельных реализаций по периодам гармонической составляющей корреляционной функции. Эта гистограмма симметрична относительно среднего периода $T_{cp} = 7.9$ нс и имеет величину среднеквадратичного отклонения $\sigma = 1.1$ нс. На рис. 3,б приведена корреляционная функция, усредненная по всем реализациям стоковского сигнала. В ней также имеется гармоническая зависимость от времени, однако она является затухающей, так как усреднение происходит по корреляционным функциям, гармонические составляющие которых имеют различные периоды.

Таким образом, на основе проведенного анализа можно сделать следующие выводы. Процесс ВРМБ при условии $T_1/T_2 \sim 1$ обладает свойством селективного усиления модуляций стоковского сигнала, для которых $T_3 \sim T_2$. Такие модуляции могут эффективно проявляться в выходном стоковом сигнале, в частности, при соответствующем выборе условий эксперимента с определенной длительностью предвестника. Корреляционная функция, построенная для интенсивности стоковского излучения, в этом случае существенным образом отличается от гауссовой кривой. Она имеет гармоническую составляющую с периодом, близким ко времени релаксации гиперзвука в среде. Корреляционная функция этого вида соответствует такому случайному процессу, при котором флуктуации выходного стоковского сигнала являются гармонической функцией со случайной фазой и случайным периодом вблизи $\sim T_2$. Это означает, что при ВРМБ в режиме сильного истощения и при $T_1/T_2 \sim T_3/T_2 \sim 1$ преимущественное усиление имеют не отдельные некоррелированные всплески стоковского сигнала с $T_3 \sim T_2$, а протяженные гармонические флуктуации с периодом, близким к T_2 .

Список литературы

- [1] Беспалов В.И., Бетин А.А., Пасманик Г.А., Шилов А.А. // Письма в ЖЭТФ. 1980. Т. 31. Вып. 11. С. 668–672.
- [2] Дуанов Е.М., Карасик А.Я., Лучников А.В. // ЖТФ. 1987. Т. 57. Вып. 8. С. 1556–1561.
- [3] Dianov E.M., Karasik A.Ya., Luchnikov A.V., Pilipetskii A.N. // Opt. and Quant. Electron. 1989. Vol. 21. P. 381–395.
- [4] Gaeta A.L., Boyd R.W. // Phys. Rev. A. 1991. Vol. 44. N 5. P. 3205–3209.
- [5] Кузин Е.А., Петров М.П., Ситников А.Э., Фотиади А.А. // ЖТФ. 1988. Т. 58. Вып. 12. С. 2330–2335.
- [6] Kuzin E.A., Petrov M.P., Fotiadi A.A. Optical Phase Conjugation / Ed. by M. Gower., D. Proch. Springer Verlag, 1994. P. 74–96.
- [7] Фотиади А.А., Кузин Е.А., Петров М.П., Ганичев А.А. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. Вып. 11. С. 48–53.