

## ЧЕТЫРЕХФОТОННАЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ГЕНЕРАЦИЯ ПРИ САМОФОКУСИРОВКЕ

А. П. Ведута, Б. П. Кирсанов, Н. П. Фурзиков

О широких сплошных спектрах вынужденного четырехфотонного рассеяния уже сообщалось ранее в работе /1/. Ниже мы сообщаем о наблюдениях при рассеянии в оптическом стекле К-8 дискретной частотно-угловой структуры, которая возникала в результате самофокусировки излучения в образце. Эксперименты проводились с рубиновым лазером, причем в отличие от предыдущих работ исследуемый образец помещался внутри лазерного резонатора.

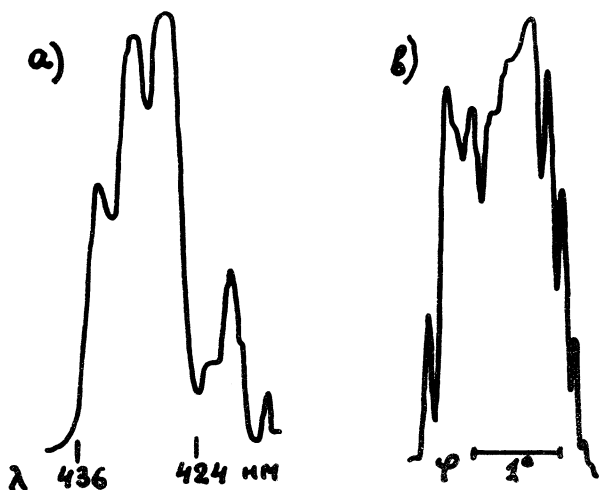
Применяемый рубиновый лазер состоял из брусков стержневого рубинового стержня длиной 11 см, просветляющегося фильтра и двух разнесенных на 150 см диэлектрических зеркал, имеющих отражение на 694 нм около 99%. Образцы стекла К-8 длиной от 5 до 30 см с плоскопараллельными торцами устанавливались внутри резонатора вблизи одного из зеркал. Между образцом и активным стержнем имелась ограничивающая диафрагма диаметром 1–2 мм. Пиковая плотность мощности внутри резонатора составляла по оценкам  $10^9$  вт/см<sup>2</sup>. Эту мощность мы могли менять в некоторых пределах, изменяя начальное пропускание просветляющегося фильтра от 65 до 35%. Осциллограммы лазерного излучения при установлении в резонаторе образца имели вид, характерный для частичной синхронизации мод. Видимая на осциллографе с собственным временем 0,5 нсек глубина модуляции короткими пиками достигала в лучшем случае 70–80%.

Спектры и угловая структура вынужденного рассеяния, а также распределение излучения по торцу образца фотографировались сквозь зеркало резонатора, которое пропускало до 70% излучения в широких спектральных интервалах в стоксовой и антистоксовой областях. Для регистрации частотно-угловой структуры рассеянного излучения применялся спектрограф, входная щель которого располагалась в фокальной плоскости собирающей линзы.

Вынужденное рассеяние возбуждалось в образце только при такой мощности лазера, когда возникала самофокусировка, появление которой мы обнаруживали по тонким трекам остаточных разрушений в объеме образца и ярким пятнам в распределении излучения 694 нм и рассеянного излучения на его торце. Пятна имели диаметр 50–150 мк, расположение их было хаотично и от импульса к импульсу не воспроизводилось. На пороге эффекта пятен и соответственно треков было мало, всего 1–2, а при значительном превышении порога число их достигало 20. Хотя одновременная регистрация распределений рассеянного и возбуждающего излучений на торце образца не производилась, но вид картинок в разных импульсах позволяет считать, что эти распределения коррелированы.

Типичные денситограммы частотно-углового распределения рассеянного излучения в антистоксовой области, полученные с образцом стекла К-8 длиной 15 см при малой мощности лазера, показаны на рис. 1 (а – распределение по длинам волн, в – распределение по углам). При малой мощности лазера спектр рассеянного излучения занимает лишь отдельные интервалы, как это видно из рисунка. При увеличении мощности лазера и, следовательно, увеличении числа пятен на торце образца спектральная область рассеяния становится шире, и стоксова сторона может смыкаться с антистоксовой. Мы регистрировали спектры, простирающиеся от 1000 до 400 нм. Однако, при увеличении мощности лазера и, следовательно, увеличении ширины

спектра рассеяния частотно-угловое распределение рассеяния существенно усложняется, что, по-видимому, связано с увеличением числа нитей самофокусировки (числа пятен на торце) и интерференцией излучения из разных нитей. Но даже при самой большой мощности



Р и с. 1. Денситограмма частотно-углового распределения рассеянного излучения;

(а – распределение по длинам волн; в – распределение по углам).

общий угловой размер структуры не превышал  $5^\circ$ , и она оставалась дискретной. Следует заметить, что в угловом распределении мы никогда не наблюдали "усов", о которых сообщалось в работах /1,2/.

Поляризация рассеянного излучения совпадала с поляризацией возбуждающего. Общий выход рассеяния в расчете на одну нить самофокусировки (одно пятно на торце), который мы оценивали по почернениям фотопленки, составляет примерно 1%. Какой-либо регулярной зависимости спектра от длины образца обнаружено не было. В образцах короче 5 см самофокусировка и рассеяние не возникали.

Наблюдаемую частотно-угловую структуру можно объяснить, предполагая, что четырехфотонное преобразование частоты излучения происходит в ограниченных диэлектрических волноводах самофокусировки. Проведенный теоретический анализ с решением укороченных нелинейных уравнений Максвелла для цилиндрического диэлектрического волновода с четырьмя взаимодействующими модами дает результаты, качественно согласующиеся с экспериментом. Он показывает, что частоты должны быть дискретными, и дает согласующуюся с экспериментом величину шага угловой структуры. Получить же удовлетворительное количественное соответствие для частот не удается. Это обусловлено, по-видимому, тем, что принятая нами расчетная модель основана на весьма грубых предположениях относительно характера самофокусировки.

Если считать, что максимальный угловой раствор структуры рассеянного излучения определяется углом полного внутреннего отражения в предполагаемом нами волноводе, то мы можем найти максимальную нелинейную добавку к показателю преломления среды, а, зная  $\chi^{(3)}$  — также плотность мощности в волноводе. Оценки этих величин для наших условий (см. рис. 1) дают соответственно  $10^{-3}$  и  $10^{12}$  Вт/см<sup>2</sup>. При такой величине нелинейной добавки в волноводе диаметром 100 мк может существовать 4–5 мод, как это видно из рис. 1. При указанной мощности длина, на которой развивается четырехфотонная параметрическая генерация, составляет при  $\chi \approx 10^{-13}$  /3,4/ доли мм, и возможны многоступенчатые процессы. Естественно, что наличие таких процессов затруднит интерпретацию.

Оценка эффектов фазовой модуляции /5,6/ для исходных импульсов 10 псек и пиковой плотности мощности  $10^9$  Вт/см<sup>2</sup>, которые характерны для рубинового лазера в режиме синхронизации мод, показывает, что вклад их в уширение спектра незначителен. Можно предполагать, однако, что в результате самофокусировки и многоступенчатых вынужденных процессов им-

пульсы обостряются, и пиковая мощность возрастает. Этому механизму уширения противоречит, однако, тот факт, что ширина спектра не зависит от длины образца.

Поступила в редакцию  
16 февраля 1971 г.

#### Л и т е р а т у р а

1. R. R. Alfano, S. L. Shapiro. *Phys. Rev. Lett.*, 24, 584 (1970).
2. И. Г. Бондаренко, И. В. Еремина, В. И. Галанов. Письма в ЖЭТФ, 12, 125 (1970).
3. А. П. Ведуга, Б. П. Кирсанов. ЖЭТФ, 54, 1374 (1968).
4. А. П. Ведуга, Б. П. Кирсанов. ЖЭТФ, 56, 1175 (1969).
5. F. Shimizu. *Phys. Rev. Lett.*, 19, 1097 (1967).
6. A. C. Cheung, D. M. Rank, R. Y. Chiao, C. H. Townes. *Phys. Rev. Lett.*, 20, 786 (1968).