

*Письма в ЖЭТФ, том 10, стр. 153 – 156*

*5 августа 1969г.*

## **ФАЗИРОВКА СПЕКТРА И КОРОТКИЕ СВЕТОВЫЕ ИМПУЛЬСЫ ПРИ ВЫНУЖДЕННОМ КОМБИНАЦИОННОМ РАССЕЙАНИИ**

*Т.И.Кузнецова*

В настоящей работе предлагается новый способ получения коротких световых импульсов, основанный на возбуждении вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР) стоксовой частоты, распространяющегося вдоль по направлению накачки. Если накачка представляет собой излучение многомодового лазера с несинхронизованными модами, то возникает стоксово излучение, спектральные компоненты которого в отличие от компонент накачки оказываются частично сфазированными. В определенных

случаях можно получить полную фазировку спектра ВКР; при этом временной ход интенсивности стоксова излучения будет представлять собой последовательность изолированных коротких импульсов.

Эффект фазировки спектра особенно четко проявляется в случае усилителя на ВКР, для которого выходной сигнал стоксовой частоты  $I_s(t, \ell)$ , связан с входным сигналом  $I_s(t, 0)$  и накачкой  $I(t)$  соотношением

$$I_s(t, \ell) = I_s(t - \frac{\ell}{v}, 0) \exp \{ g \ell I(t - \frac{\ell}{v}) \} \quad (1)$$

Огибающая интенсивности накачки  $I(t)$  содержит флуктуационные выбросы, обусловленные интерференцией различных мод, и является квазипериодической функцией с периодом межмодовых биений. При больших коэффициентах усиления  $g \ell I(t) \gg 1$  неравномерности временного хода  $I(t)$  проявляются во временном ходе функции  $\exp \{ g \ell I(t) \}$  в значительно большей мере; в частности, становится возможным выделение из ряда флуктуационных выбросов, содержащихся на периоде функции  $I(t)$ , одного наиболее интенсивного.

Отметим, что изменение временных характеристик стоксова излучения по сравнению с профилем накачки обсуждалось в работах [1, 2], где рассматривалось сужение стоксовых импульсов. Здесь же мы хотим обратить внимание на то, что при многомодовой накачке наряду с сужением происходит выделение интенсивных импульсов (т. е. фазировка спектра). Из-за эффекта сужения отношение мгновенной мощности излучения к средней увеличивается в несколько раз, в типичных случаях в 3–4 раза. Фазировка спектра позволяет увеличить это отношение в  $m$  раз ( $m$  — число мод накачки).

Интересующий нас эффект может быть описан простой формулой (1), если выполнены следующие условия.

Прежде всего необходимо, чтобы сумма спектральных ширин стоксова сигнала и накачки была меньше ширины полосы усиления

$$(\Delta \omega_s + \Delta \omega)^2 \ll \gamma^2 / g \ell . \quad (2)$$

Здесь  $\gamma$  — ширина линии спонтанного комбинационного рассеяния,  $\ell$  — длина усилителя, а величина  $g$  дается известной формулой

$$g = \left( \frac{c}{\omega_s n_s} \right) \frac{1}{\hbar \omega} \frac{d\sigma}{d\Omega} \frac{1}{\gamma} N 8\pi^2 , \quad (3)$$

где  $n_s$  — показатель преломления,  $d\sigma/d\Omega$  — дифференциальное сечение спонтанного комбинационного рассеяния,  $N$  — плотность рассеивающих молекул,  $\omega$  и  $\omega_s$  — частоты накачки и стоксовой волны.

Далее, групповые скорости стоксовой волны и накачки должны быть близки по величине и по направлению:

$$\ell(1/v - 1/v_s) \ll 2\pi/\Delta\omega, \quad (4)$$

$$(1 - \cos\phi)\ell/v \ll 2\pi/\Delta\omega, \quad (5)$$

здесь  $\phi$  — угол между направлениями распространения двух волн.

Кроме этого, величина выходного сигнала должна заметно превышать уровень усиленного шума спонтанного комбинационного рассеяния в телесном угле усиления  $\Delta\Omega$ , а также должно отсутствовать насыщение по накачке

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} \Delta\Omega N \ell \pi^{-1/2} \{g\ell I(t)\}^{-3/2} \exp\{g\ell I(t)\} I(t) \ll I_s(t,0) \exp\{g\ell I(t)\}, \quad (6)$$

$$I_s(t,0) \exp\{g\ell I(t)\} \ll \frac{\omega_s}{\omega} I(t). \quad (7)$$

Следует отметить, что отсутствие насыщения по накачке весьма существенно для выделения одного импульса из случайной временной структуры. Это связано с тем, что при насыщении прежде всего ослабляются именно те наиболее интенсивные участки профиля накачки, которые требуется подчеркнуть с помощью ВКР.

Рассмотрим конкретный пример. Пусть период межмодовых биений накачки  $T = 3 \cdot 10^{-9}$  сек, а число мод  $m = 10$ ; при этом характерная длительность выбросов накачки  $2\pi/\Delta\omega \approx T/m = 3 \cdot 10^{-10}$  сек. Возьмем следующие значения параметров усилителя на ВКР:  $\ell = 20$  см,  $N = 10^{22}$  см<sup>-3</sup>,  $\sigma = 10^{-28}$  см<sup>2</sup>,  $\gamma = 2 \cdot 10^{11}$  сек<sup>-1</sup>,  $\omega = 3 \cdot 10^{15}$  сек<sup>-1</sup>,  $n = 1,5$ . При этом условия (2) и (4) для обычных жидкостей выполнены, а из (5) получаем ограничение на угол:  $\phi < 0,2$ ; в реальных условиях обычно используются углы  $\phi \lesssim 0,1$ . Примем в связи с этим для оценок  $\Delta\Omega = 10^{-2}$ . Тогда из условий (6) и (7) получаются следующие ограничения на мгновенные плотность мощности накачки и коэффициент усиления:  $I(t) \leq I_{\max} = 150$  Мвт/см<sup>2</sup>,  $g\ell I_{\max} = 18$ . Примем, что усредненная за период мощность накачки составляет  $(1/5)I_{\max} = 30$  Мвт/см<sup>2</sup>. Найдем вероятность  $W$  того, что в максимальном стоксовом импульсе содержится не менее половины всей энергии, излучаемой за период на стоксовой частоте. Расчет, аналогичный проведенному в [3] для другой задачи, при выбранных параметрах дает  $W > 0,55$ .

Таким образом, мы показали возможность получения во временном ходе стоксова излучения одного интенсивного импульса на периоде накачки. Принятые для оценок значения параметров типичны для экспериментов по ВКР, так что получение импульсов длительностью  $\Delta t \sim 10^{-10}$  сек легко осуществимо. Добавим, что наличие затравочного сигнала сток-

совой частоты не является обязательным, так как сходная картина, по-видимому, будет возникать и при усилении спонтанного комбинационного рассеяния.

Предельные длительности импульсов ВКР, которые могут быть достигнуты указанным способом, определяются шириной линии комбинационного рассеяния,  $\Delta t \sim 1/\gamma \sim 10^{-11}$  сек. Однако, при переходе к меньшим значениям  $\Delta t/T$  уменьшается вероятность выделения одного импульса на периоде. Для более эффективного выделения импульса можно вводить селективное поглощение для стоксовой волны, которое приведет к уменьшению выходной интенсивности  $I_s(t, \ell)$  в  $\exp(a\ell)$  раз. При этом отношение интенсивностей различных участков профиля накачки  $I_1/I_2$  будет изменяться, как и в отсутствие поглощения, в  $\exp\{g\ell(I_1 - I_2)\}$  раз. В то же время условия типа (6), (7) будут ограничивать теперь величину полного коэффициента усиления  $\exp(-a\ell + g\ell I)$ , и можно будет повысить величину  $g\ell I$ , что позволит получить значительную вероятность выделения одного импульса при большем числе мод.

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

Поступила в редакцию  
3 июля 1969 г.

### Литература

- [1] W.G.Wagner, S.Yatsiv, R.W.Hellwarth. In Physics of Quantum Electronics, ed. by P.L.Kelley et al., p. 159. New York, 1966.
  - [2] В.А.Зубов, А.В.Крайский, К.А.Прохоров, М.М.Сушинский, И.К.Шувалов. ЖЭТФ, 55, 443, 1968.
  - [3] Т.И.Кузнецова. ЖЭТФ, 57, №4, 1969.
-