

## ЛАЗЕР С НЕРЕЗОНАНСНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

Р.В.Амбарцумян, Н.Г.Басов, П.Г.Крюков, В.С.Летохов

I. В квантовом генераторе радио- и оптического диапазонов обратная связь является резонансной [1,2]. Последнее есть следствие применения резонаторов (объемного в радиодиапазоне и Фабри-Перо в оптическом диапазоне), которые имеют минимум потерь электромагнитной энергии в области сравнительно узких интервалов частот. Поэтому генераторы с резонансной обратной связью излучают один или несколько типов колебаний, которые обычно слабо взаимодействуют между собой и могут рассматриваться как изолированные.

В настоящем письме сообщается о получении генерации с нерезонансной обратной связью на кристаллах рубина, имеющих высокое усиление. Нерезонансная обратная связь осуществлялась при обратном рассеянии на рассеивающем объеме или поверхности. При падении световой волны на рассеиватель часть энергии рассеивается в другие типы колебаний "резонатора", а другая часть - покидает его. В результате типы колебаний резонатора сильно взаимодействуют и, строго говоря, не являются изолированными. Спектр собственных частот такого "стохастического" резонатора является сплошным. Отсутствие резонансных свойств у стохастического резонатора означает, что частота генерации не должна зависеть от длины резонатора, а определяется резонансной частотой активного вещества.

2. Схема лазера приведена на рис. I. Активной средой являются два последовательных кристалла рубина 2 и 3 длиной 24 см и диаметром 1,8 см каждый, торцы которых для предотвращения самовозбуждения срезаны под углом Брюстера. Обратная связь осуществлялась

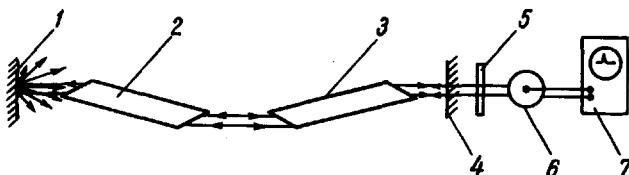


Рис. I. Схема эксперимента

с помощью зеркала 4, отражавшего 99% света, и объемного или поверхностного рассеивателя 1. В качестве объемного рассеивателя использовалась взвесь частиц мела диаметром не более  $2 \cdot 10^{-3}$  см в воде, а в качестве поверхностного рассеивателя - пластинка со слоем напыленного  $MgO$ . Световой поток, пропущенный зеркалом 4 и ослабленный светофильтром 5, для регистрации поступал на фотоэлемент 6 и осциллограф 7, а для измерения спектра - на эталон Фабри-Перо. Усиление слабого сигнала на двух кристаллах за проход достигало 900.

3. Условие самовозбуждения лазера в нашем случае ( $\Omega_{\text{расс}} \gg \Omega_{\text{генер}}$ ) имеет вид:

*Вклейка к ст. Р. В. Амбарцумяна и др. (стр. 253)*

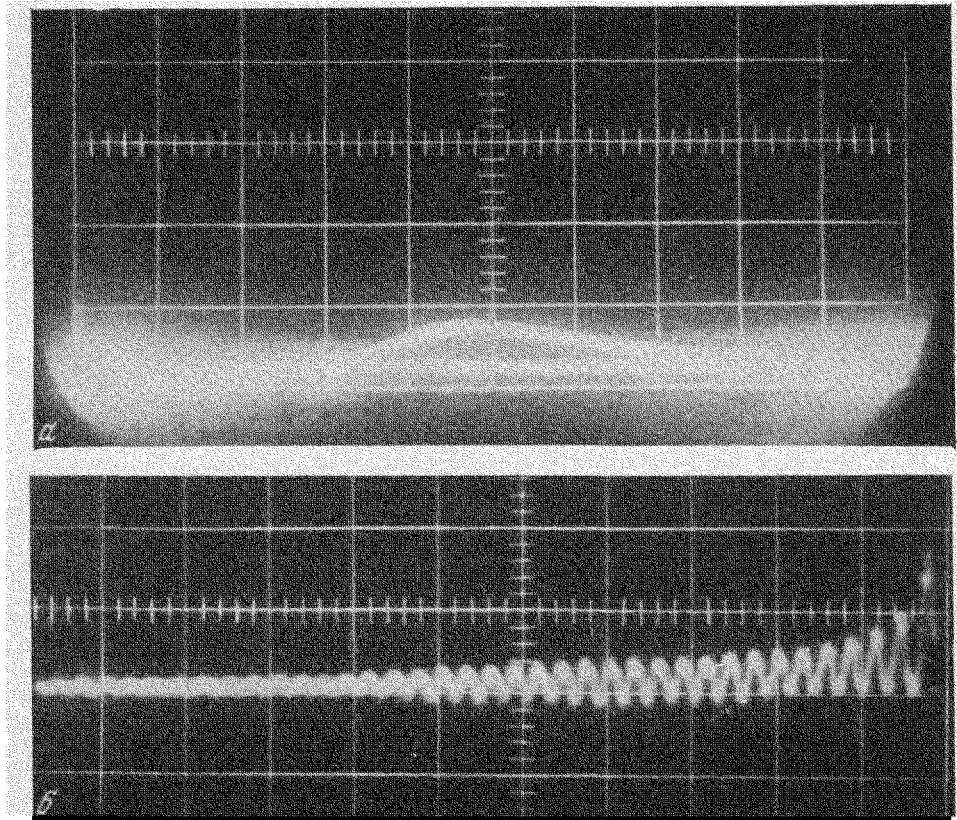


Рис. 2. Излучение лазера до порога (а) и выше порога (б)

$$k^2 \tau \frac{\Omega_{\text{генер}}}{\Omega_{\text{расс}}} \frac{\alpha}{2} = 1, \quad (I)$$

где  $k$  - усиление за проход;  $\tau$  - коэффициент отражения зеркала;

$\Omega_{\text{генер}}$  - эффективный телесный угол, в котором распространяется генерируемое излучение;  $\Omega_{\text{расс}}$  - эффективный телесный угол обратного рассеяния;  $\alpha$  - коэффициент обратного рассеяния в угол 2 (стэр); множитель  $1/2$  возникает из-за полной деполаризации излучения при рассеянии. Приближенно  $\Omega_{\text{генер}} = (P/L)^2$ , где  $P$  - диаметр кристалла,  $L$  - среднее расстояние между зеркалом и рассеивателем. Для идеального рассеивателя  $\Omega_{\text{расс}} = 2\pi$ . В эксперименте  $L = 100$  см,  $P = 1,8$  см,  $\tau \approx 1,0$ . При рассеянии на поверхности  $\alpha \approx 0,9$ ,  $\Omega_{\text{расс}} = 2\pi$ , а при объемном рассеянии  $\alpha \approx 0,5$ , но  $\Omega_{\text{расс}} < 2\pi$ . Поэтому пороговое усиление на проход в обоих случаях одного порядка  $k \approx 200$ . Использование в лазере зеркала 4 не приводит к появлению резонансных свойств, но существенно понижает порог генерации. При использовании двух рассеивателей порог генерации достигался бы при усилии  $k \approx 4 \cdot 10^4$ .

4. На рис. 2,а (см. вклейку) приведена осциллограмма излучения лазера при накачке ниже пороговой, а на рис.2,б - при накачке выше пороговой при обратной связи на объемном рассеивателе. На рис.2,б отчетливо видны затухающие пульсации, характерные для режима генерации. Порог практически не зависит от угла наклона рассеивателя в широких пределах, но повышается при удалении рассеивателя от кристалла, что согласуется с условием (I). Исследование спектра производилось с помощью эталона Фабри-Перо с воздушным промежутком 3 см. Ширина линии излучения была меньше  $0,015 \text{ см}^{-1}$  и определялась разрешающей способностью эталона (ширина линии спонтанного излучения рубина  $15 \text{ см}^{-1}$ ). Исследование спектра биений излучения показало отсутствие частот типа  $c/2L$ , характерных для лазеров с резонансной обратной связью. Угловая расходимость излучения  $\sim (P/L)$ , а распределение поля излучения в дальней зоне является весьма однородным. При модуляции добротности стохастического резонатора был получен импульс с длительностью 200 нсек.

5. Средняя частота генерируемого излучения в лазере с нерезонансной обратной связью определяется положением центра атомного перехода, а не резонанса обратной связи. Следовательно, на основе лазера с нерезонансной обратной связью можно создать оптический стандарт частоты. Для этого следует использовать атомные переходы с большим коэффициентом усиления в газовом разряде  $Ne$ ,  $Xe$  и др. в непрерывном режиме, а также рассеиватели с узкой диаграммой обратного рассеяния.

6. Следует отметить, что генерация с обратной связью за счет рассеяния на неоднородностях кристалла и боковой матированной поверхности кристалла может ограничить максимальное усиление. Теоретически случай генерации на "случайных модах" боковой матированной поверхности кристалла рассматривался в работе Флека [3]. В наших экспериментах такая генерация возникала при максимальной накачке. В этом случае генерация происходит в определенном конусе углов.

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

Поступило в редакцию  
9 февраля 1966 г.

#### Литература

- [1] Н.Г.Басов, А.М.Прохоров. ЖЭТФ, 27, 431, 1954; J.P.Gordon, H.J.Zeiger, C.H.Townes. Phys.Rev., 95, 282, 1954.
- [2] А.М.Прохоров. ЖЭТФ, 34, 1658, 1958; A.L.Shawlow, C.H.Townes. Phys.Rev., 112, 1940, 1958.
- [3] J.A.Fleck, Jr. Appl.Phys., 36, 1301, 1965.

---

TO3819. Подписано к печати 23/II-1966г. Тираж 1100 экз. Зак.60  
Формат бумаги 70 x 108 I/16. Печ.л.21 Бум.л. 1. Уч.-изд.л. 1,9

Офсетное производство 3-й типографии издательства "Наука"  
Москва, Армянский пер., 2