

## АВТОРЕЗОНАНСНАЯ ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ В ЛАЗЕРАХ

В.С.Летохов

1. В настоящее время существуют оптические квантовые генераторы двух типов: с резонансной обратной связью [1] (обратная связь при отражении от системы зеркал) и с нерезонансной обратной связью [2] (обратная связь за счет обратного рассеяния). В данной заметке рассматривается возможность создания оптических квантовых генераторов с авторезонансной обратной связью, которая осуществляется при отражении света от пространственной фазовой решетки в среде, создаваемой собственной световой волной лазера.

В лазере с резонансной обратной связью частота резонанса определяется геометрией зеркал и задается извне. В лазере с авторезонансной обратной связью положение резонанса в установившемся режиме определяется частотой максимального усиления активного вещества. Это представляет интерес для создания оптических квантовых генераторов со стабильной частотой излучения.

2. Пространственное периодическое изменение показателя преломления среды в стоячей световой волне может возникнуть за счет различных механизмов. Например, в сильном световом поле показатель преломления зависит от интенсивности  $I$  (Керр-эффект, электрострикция):  $n = n_0 + I (\partial n / \partial I)$ . Другая возможность заключается в том, что при поглощении излучения стоячей световой волны среда нагревается, причем источник тепла распределен в пространстве с периодом  $\lambda/2$ . Это приводит к периодическому изменению температуры  $T$ , следовательно, изменению показателя преломления  $n = n_0 + \delta T (\partial n / \partial T)$ .

Коэффициент отражения света с длиной волны  $\lambda$  от пространственной фазовой решетки длины  $\ell$  с периодом  $\lambda/2$  и изменением показателя преломления  $\delta n$  составляет  $r \approx (2\ell/\lambda) \delta n$ . Следовательно,

коэффициент отражения от фазовой решетки, возникающей за счет нелинейности:

$$\tau \approx \frac{2\ell}{\lambda} I \frac{\partial n}{\partial I}. \quad (1)$$

В качестве примера рассмотрим решетку в жидкости  $CS_2$ , для которой  $\partial n / \partial I = 10^{-7} (\text{мвт}/\text{см}^2)^{-1}$  [3], и рубиновую активную среду ( $\lambda = 7 \cdot 10^{-5}$  см). При интенсивности излучения  $I = 1$  мвт/см<sup>2</sup> и длине решетки  $\ell = 35$  см коэффициент отражения  $\tau \approx 10\%$ . Если в качестве второго отражателя используется плотное зеркало (см. рисунок), то пороговое усиление на проход  $k = 1/\sqrt{\tau} \approx 3$ . Такие значения интенсивности и коэффициента усиления вполне достижимы в лазерах на люминесцентных кристаллах и стеклах.

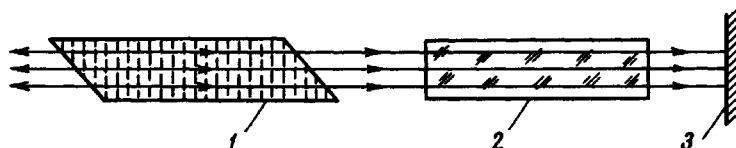


Схема лазера с авторезонансной обратной связью: 1 — пространственная фазовая решетка, 2 — активная среда, 3 — зеркало

Коэффициент отражения света от тепловой фазовой решетки в среде  $\tau \approx (2\ell/\lambda) \delta T (\partial n / \partial T)$ , где  $\delta T$  — амплитуда изменения температуры. Если длина решетки  $\ell$  гораздо больше радиуса  $a$ , то

$$\delta T \approx \frac{P}{\kappa \ell} \left(\frac{\lambda}{a}\right)^2 \quad (a > \lambda),$$

где  $P$  — поглощаемая в среде мощность излучения,  $\kappa$  — теплопроводность среды. Следовательно, коэффициент отражения от тепловой решетки:

$$\tau \approx \frac{2P}{\lambda \kappa} \left(\frac{\lambda}{a}\right)^2 \frac{\partial n}{\partial T}. \quad (2)$$

Рассмотрим, например, тепловую решетку в жидкости с  $\partial n / \partial T \approx 10^{-4}$  град<sup>-1</sup>,  $\kappa \approx 10^{-3}$  дж/сек.см.град с размерами  $2a = 1$  см,  $\ell = 10$  см, создаваемую поглощением мощности излучения  $P = 10^{-2}$  вт на длине волны  $\lambda = 3,5$  мк. В этом случае  $\delta T \approx 10^{-7}$  град, а  $\tau \approx 10^{-6}$ .

Пороговый коэффициент усиления на проход в этом случае  $k \approx 10^3$ . Та-

кое усиление вполне достижимо на ряде переходов в газовых активных средах, например в Хе при  $\lambda = 3,5$  мк, где усиление  $50 \text{ дБ/м}$  [4].

3. Особенностью лазера с авторезонансной обратной связью является жесткий режим самовозбуждения (подобно лазеру на атомном пучке [5]).

Для самовозбуждения такого лазера необходимо сначала возбудить генерацию на одном аксиальном типе колебаний в лазере с обычным резонатором Фабри-Перо, внутри которого находится оптическая среда, пригодная для образования фазовой решетки, а затем после достижения мощности излучения, достаточной для самовозбуждения на фазовой решетке, устранить отражение от одного зеркала. Сначала генерация будет происходить на частоте резонансного типа колебаний резонатора Фабри-Перо, но постепенно частота генерации сместится к центру атомной линии. Процесс смещения частоты генерации существенно зависит от инерционности фазовой решетки. Нелинейная фазовая решетка практически безинерционна ( $\tau < 10^{-10}$  сек). Однако инерционность тепловой фазовой решетки значительна, что потребует тщательной изоляции лазера от механических вибраций и пр., способных быстро изменять расстояние между зеркалом и фазовой решеткой. В установившемся режиме частота генерации определяется частотой максимального усиления. Поэтому лазер с авторезонансной обратной связью представляет интерес для создания оптических квантовых генераторов со стабильной частотой излучения.

4. Пространственные фазовые решетки, возникающие под действием поля излучения лазера, могут применяться и в обычных лазерах для селекции аксиальных типов колебаний.

Я глубоко благодарен Н.Г.Басову за обсуждение вопроса.

Физический институт

им. П.Н.Лебедева

Академии наук СССР

Поступило в редакцию

25 марта 1966 г.

Литература

[1] Т.Н.Майман. Nature, 187, 493, 1960.

[2] Р.В.Амбарцумян, Н.Г.Басов, Н.Г.Крыхов, В.С.Летохов.

Письма ЖЭТФ, 3, 261, 1966.

- [3] G. Mayer, F. Gires. Compt. Rend., 258, 2039, 1964.
- [4] R. A. Raananen, D. L. Bobroff. Appl. Phys. Lett., 2, 99, 1963.
- [5] Н. Г. Басов, В. С. Летохов. Письма ЖЭТФ, 2, 6, 1965.