

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ БЕГУЩИХ ВОЛН В КОЛЬЦЕВОМ ЛАЗЕРЕ

Э.М.Беленов, Е.П.Маркин, В.Н.Морозов, А.Н.Ораевский

Исследование биений бегущих волн, возникающих в кольцевом лазере на вращающейся платформе, позволяет с большой точностью изучать

спектральные, статистические и другие характеристики излучения лазера [1,2]. Однако расщепление частот Δ бегущих волн происходит лишь при скоростях вращения v , превосходящих некоторое критическое значение $v_{кр}$ (или соответствующее этому $\Delta_{кр} = 2kV_{кр}/\pi$, где v - линейная скорость зеркал резонатора, k - волновой вектор). При $v < v_{кр}$ из-за связи бегущих волн наступает взаимная синхронизация, приводящая к одночастотному режиму.

Нами проведено исследование величины $\Delta_{кр}$ в зависимости от параметров кольцевого лазера, позволившее существенно снизить полосу захвата.

Эксперимент проводился с He-Ne лазером ($\lambda = 3,39$ мк) (рис. 1,а). Прямой и обратный лучи $E_1(t)$ и $E_2(t)$ выводились через полупро-

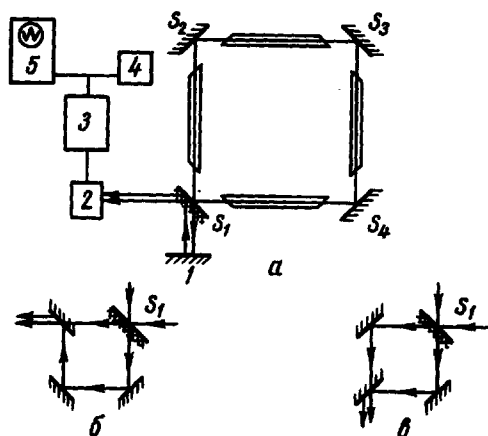


Рис. 1. а - Схема эксперимента: S_1, S_2, S_3, S_4 - зеркала кольцевого ОКГ, I - плоское зеркало, S_2 - полупрозрачное зеркало, 2 - фотосмеситель, 3 - усилитель, 4 - спектроанализатор, 5 - осциллограф; б, в - варианты вывода излучения из резонатора

зрачное зеркало S_1 (рис. 1,а) и зеркалом I сводились на фотосмеситель. Измерения частоты биений Δ проводились анализатором спектра.

Была исследована зависимость полосы захвата $\Delta_{кр}$ от коэффициента пропускания T выходного зеркала S_2 (рис. 1, а). Уменьшение пропускания приводит к резкому изменению полосы захвата (рис. 2).

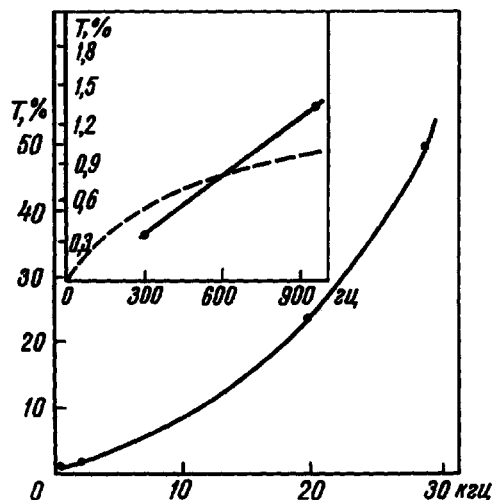


Рис. 2. Зависимость полосы захвата от пропускания выходного зеркала. В квадрате представлена часть экспериментальной кривой (сплошная линия) и теоретическая кривая (пунктирная линия) в увеличенном масштабе

Проводились опыты с ослаблением луча, отраженного от внешнего зеркала I (рис. 1, а) с помощью фильтра. Ослабление сигнала, как и ожидалось, снижает полосу захвата. Для уменьшения доли энергии, попадающей в резонатор при отражении от внешних зеркал, опробывались различные оптические схемы сведения на фотосмеситель прямого и обратного луча.

На рис. 1б, в представлены варианты схем, позволившие уменьшить полосу захвата (при пропускании выходного зеркала $T = 0,35\%$) до 300 гц. Дальнейшего снижения полосы нам удалось достичь при уменьшении добротности резонатора. Для этой цели одно из "глухих" зеркал резонатора было заменено на полупрозрачное при неизменном по пропусканию ($T = 0,35\%$) выходном зеркале. При одной и той же выходной мощности полоса захвата уменьшилась с 300 до 50 гц.

Величину полосы захвата определяют следующие эффекты: обратное отражение энергии от различных элементов резонатора, рассеяние на неоднородностях среды, нелинейная зависимость поляризации вещества от поля.

Исследование уравнений Максвелла с поляризацией [3] приводит к следующему критерию устойчивости одночастотного режима:

$$\Delta < \Delta_{кр} = 1/2 \frac{\gamma}{k} \frac{\Gamma_1 + \Gamma_2}{L} D. \quad (I)$$

Здесь L - длина резонатора, Γ_i - относительные потери мощности на проход, вызванные обратным отражением волны, D - функция параметров резонатора и вещества, убывающая с уменьшением интенсивности поля $E(x,t)$ и увеличением расстройки резонатора ν_p от центра доплеровской линии ν_A . Последнее связано с тем, что при расстройках $|\nu_p - \nu_A|$, превышающих естественную ширину линии γ_{ab} , в бегущие волны излучают фактически разные атомы и взаимодействие полей через вещество ослабляется. $D \approx 1$ при $\xi = |\nu_p - \nu_A| / \gamma_{ab} \gg 1$ и условие (I) совпадает с найденным в [4].

На рис. 2 приведена зависимость $\Delta_{кр}$ от коэффициента пропускания выходного зеркала (зеркало S_2 рис. 1, а), вычисленная по формуле (I). Учет дифракционного отражения от зеркал и окон Брюстера дает поправку к вычисленной кривой не больше 1-2 гц.

Теоретическая и экспериментальная кривые хорошо совпадают при $0,6\% < T < 0,9\%$ и отличаются при больших и малых T . Первое обусловлено тем, что (I) получено в предположении малости Γ_i , второе тем, что поляризация, рассчитанная в [3], не учитывает пространственного выгорания инверсной населенности и возникающей из-за этого фазовой связи между бегущими волнами. Учет этой связи согласно работе [5] приводит к значению

$$\Delta_{кр} \approx \frac{\gamma}{Q} (\eta - 1), \quad (2)$$

где Q - добротность резонатора, η - отношение интенсивности накачки к ее пороговому значению. Расчет $\Delta_{кр}$ по формуле (2) дает слишком

большое $\Delta_{кр}$, противоречащее эксперименту. Эта трудность не устраняется и в модели с доплеровским уширением линии, когда движение молекул частично сглаживает неравномерность инверсной населенности.

Выход из этого противоречия состоит в том, что при малых расстройках в кольцевом лазере устойчивым является режим одной бегущей волны, обуславливающей практически однородное выгорание активного вещества. Увеличение расстройки ведет к появлению встречной бегущей волны. Вызванная этим небольшая пространственная модуляция инверсной населенности приводит к фазовой связи бегущих навстречу друг другу волн. Однако при одной и той же интенсивности поля эта связь будет значительно слабее той, которая следует из [5], что, в свою очередь, приводит к величине $\Delta_{кр}$, значительно меньшей, чем дает (2). При этом качественная зависимость $\Delta_{кр}$ от добротности резонатора согласуется с экспериментальной, так как амплитуда встречной бегущей волны и вызванная ею пространственная модуляция инверсной населенности уменьшается с уменьшением добротности резонатора.

Авторы выражают благодарность Н.Г.Басову за ценные советы и внимание к работе и В.В.Грому за помощь в проведении эксперимента.

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

Поступило в редакцию
23 ноября 1965 г.

Литература

- [1] W.M.Masek, D.T.M.Davis, Jr., R.W.Olthuis, J.R.Schneider, G.B.White. Optical Masers, Polytechnic Press N.-Y., p. 199, 1963.
- [2] В.С.Летохов, Е.П.Маркин. ЖЭТФ, 48, 770, 1965.
- [3] F.Aronowitz. Phys. Rev., 139, A 635, 1965.
- [4] Н.Г.Басов, Э.Н.Беленов, В.С.Летохов. Докл. АН СССР, 161, 556, 1965.
- [5] Н.Г.Басов, В.Н.Морозов, А.Н.Ораевский. ЖЭТФ, 49, 895, 1965.