

# 噪声对双模激光竞争效应的影响\*

陈黎梅 曹力 丘军林

(华中理工大学物理系和激光技术国家重点实验室, 武汉 430074)

**摘 要** 讨论了噪声对双模激光模间竞争效应的影响。通过线性稳定性分析, 得到一些有意义的结论。

**关键词** 模间竞争效应, 双模激光, Novikov 定理。

## 1 引 言

模间竞争效应是研究多模振荡激光器的重要问题之一。而双模振荡情况又是多模振荡器的一个重要例子。六十年代, 人们对双模激光器模间竞争效应的研究均是在确定论基础上进行的。在确定论情况下, 两模的竞争效应在强耦合区表现为一个模最终能建立起稳定振荡, 而另一个模被抑制; 在弱耦合区表现为两个模都可能建立起稳定振荡<sup>[1, 2]</sup>。

然而, 实际情况是, 激光器工作时总会伴随有涨落的出现, 自发辐射的量子噪声(加法噪声)和泵涨落(乘法噪声)就会出现。那么, 考虑噪声的存在时, 它对模间的竞争效应又会产生什么样的影响呢? 七十年代末期以来, 许多作者考虑了涨落对双模激光的影响。但均侧重于计算光强定态几率分布及其定态矩, 而讨论噪声对模间竞争效应的影响却未见报道。

本文着重研究噪声(包含加法噪声和乘法噪声)对模间竞争效应的影响。通过使用 Novikov 定理<sup>[3-5]</sup>以及线性稳定性分析, 分别在阈值附近和远高于阈值情况下, 讨论噪声对模间竞争效应的具体影响。研究发现, 在阈值附近, 量子噪声(加法噪声)对模间竞争效应的影响起主要作用; 而在远高于阈值情况下, 泵涨落(乘法噪声)则对模间竞争效应的影响起决定性作用, 且这种影响随着泵涨落强度的增加而增强。

## 2 两模定态光强 $I_{1s}$ 和 $I_{2s}$

噪声(包含加法噪声和乘法噪声)驱动的双模激光光场振幅方程可表示为<sup>[6]</sup>

$$E_1 = (a_1 - A_1 |E_1|^2 - \zeta |E_2|^2) E_1 + E_1 p(t) + q(t) \quad (1)$$

$$E_2 = (a_2 - A_2 |E_2|^2 - \zeta |E_1|^2) E_2 + E_2 p(t) + q(t) \quad (2)$$

式中  $p(t) = p_1(t) + ip_2(t), \quad q(t) = q_1(t) + iq_2(t) \quad (3)$

$$\langle \dot{p}_i(t) p_j(t') \rangle = 2p' \delta_{ij} \delta(t - t'), \quad \langle \dot{q}_i(t) q_j(t') \rangle = 2p \delta_{ij} \delta(t - t'), \quad i, j = 1, 2 \quad (4)$$

\* 国家自然科学基金资助项目。

收稿日期: 1996-10-26; 收到修改稿日期: 1997-04-11

$p'$  为乘法噪声  $p(t)$  的噪声强度,  $p$  为加法噪声  $q(t)$  的噪声强度;  $a_1$ 、 $a_2$  分别为两模的净增益系数且有  $a_1$ 、 $a_2$  均大于零;  $A_2$ 、 $A_1$  为两模的自饱和系数;  $\zeta_1$ 、 $\zeta_2$  为两模交叉耦合系数,  $E_1$ 、 $E_2$  为两模的光场振幅。利用  $E_1 = \sqrt{I_1} \exp(i\varphi)$  及  $E_2 = \sqrt{I_2} \exp(i\varphi)$ , 从(1)、(2)式导出噪声驱动的双模激光光强方程组为:

$$I_1 = 2(a_1 - A_1 I_1 - \zeta_2 I_2) I_1 + 2p + \sqrt{2p'I_1^2 + 2pI_1} \Gamma_I(t) \quad (5)$$

$$I_2 = 2(a_2 - A_2 I_2 - \zeta_1 I_1) I_2 + 2p + \sqrt{2p'I_2^2 + 2pI_2} \Gamma_I(t) \quad (6)$$

其中  $\langle \dot{\Gamma}_I(t) \Gamma_I(t') \rangle = 2\delta(t - t')$  (7)

令  $I_1 = I_{1s} + \epsilon_1(t)$ ,  $I_2 = I_{2s} + \epsilon_2(t)$  (8)

其中  $I_{1s}$ 、 $I_{2s}$  分别为两模的定态光强, 且  $I_{1s} \neq 0$ ,  $I_{2s} \neq 0$ 。  $\epsilon_1(t)$ 、 $\epsilon_2(t)$  分别是对两模在定态光强附近的小扰动。

由(5)、(6)式及  $I_1 = I_2 = 0$ , 导出两模定态光强  $I_{1s}$  和  $I_{2s}$  分别为

$$I_{1s} = a_1' / [A_1(1 - c)] \quad (9)$$

$$I_{2s} = a_2' / [A_2(1 - c)] \quad (10)$$

其中  $a_1' = a_1 - \zeta_2 a_2 / A_2$ ,  $a_2' = a_2 - \zeta_1 a_1 / A_1$ ,  $c = \zeta_1 \zeta_2 / A_1 A_2$ 。  $a_1'$ 、 $a_2'$  分别为两模的有效净增益系数;  $c$  为两模的耦合常数, 它的大小反映了两个模之间的耦合强弱。

### 3 阈值附近噪声对模间竞争效应的影响

在阈值附近, 光强  $I$  很小, 且  $p > p'$ , 这时光强方程组(5)、(6)式近似为:

$$I_1 = 2(a_1 - A_1 I_1 - \zeta_2 I_2) I_1 + 2p + \sqrt{2pI_1} \Gamma_I(t) + (p'I_1^{3/2} / \sqrt{2p}) \Gamma_I(t) \quad (11)$$

$$I_2 = 2(a_2 - A_2 I_2 - \zeta_1 I_1) I_2 + 2p + \sqrt{2pI_2} \Gamma_I(t) + (p'I_2^{3/2} / \sqrt{2p}) \Gamma_I(t) \quad (12)$$

将(8)式代入(11)、(12)式, 在定态光强  $I_{1s}$ 、 $I_{2s}$  附近作线性化, 经过计算整理得线性化的扰动方程组为:

$$\dot{\epsilon}_1(t) = -2I_{1s}[A_1 \epsilon_1(t) + \zeta_2 \epsilon_2(t)] + \left( \sqrt{\frac{p}{2I_{1s}}} + \frac{3p'}{2} \sqrt{\frac{I_{1s}}{2p}} \right) \epsilon_1(t) \Gamma_I(t) \quad (13)$$

$$\dot{\epsilon}_2(t) = -2I_{2s}[A_2 \epsilon_2(t) + \zeta_1 \epsilon_1(t)] + \left( \sqrt{\frac{p}{2I_{2s}}} + \frac{3p'}{2} \sqrt{\frac{I_{2s}}{2p}} \right) \epsilon_2(t) \Gamma_I(t) \quad (14)$$

对(13)、(14)式两边取平均, 有:

$$\langle \dot{\epsilon}_1(t) \rangle = -2I_{1s}[A_1 \langle \epsilon_1(t) \rangle + \zeta_2 \langle \epsilon_2(t) \rangle] + \left( \sqrt{\frac{p}{2I_{1s}}} + \frac{3p'}{2} \sqrt{\frac{I_{1s}}{2p}} \right) \langle \epsilon_1(t) \Gamma_I(t) \rangle \quad (15)$$

$$\langle \dot{\epsilon}_2(t) \rangle = -2I_{2s}[A_2 \langle \epsilon_2(t) \rangle + \zeta_1 \langle \epsilon_1(t) \rangle] + \left( \sqrt{\frac{p}{2I_{2s}}} + \frac{3p'}{2} \sqrt{\frac{I_{2s}}{2p}} \right) \langle \epsilon_2(t) \Gamma_I(t) \rangle \quad (16)$$

下面运用 Novikov 定理来求  $\langle \epsilon_1(t) \Gamma_I(t) \rangle$  和  $\langle \epsilon_2(t) \Gamma_I(t) \rangle$ 。由 Novikov 定理知<sup>[3-5]</sup>:

$$\langle \epsilon_1(t) \Gamma_I(t) \rangle = \int_0^t dt' \gamma_{11}(t, t') \left\langle \frac{\delta \epsilon_1(t)}{\delta \Gamma_I(t')} \right\rangle \quad (17)$$

式中  $\gamma_{11}(t, t') = \langle \dot{\Gamma}_I(t) \Gamma_I(t') \rangle = 2\delta(t - t')$  (18)

将(18)式代入(17)式, 得

$$\langle \epsilon_1(t) \Gamma_I(t) \rangle = \delta \epsilon_1(t) / \delta \Gamma_I(t) \quad (19)$$

(13) 式的形式解为:

$$\epsilon_1(t) = \epsilon_0(t) + \int_0^t \left\{ -2I_{1s} [A_1 \epsilon_1(t') + \zeta \epsilon_2(t')] + \left( \sqrt{\frac{p}{2I_{1s}}} + \frac{3p'}{2} \sqrt{\frac{I_{1s}}{2p}} \right) \epsilon_1(t') \Gamma_1(t') \right\} dt'$$

则

$$\delta \epsilon_1(t) / \delta \Gamma_1(t) = \left[ (p/2I_{1s})^{1/2} + (3p'/2)(I_{1s}/2p)^{1/2} \right] \epsilon_1(t)$$

故由(19)式可得

$$\langle \dot{\epsilon}_1(t) \Gamma_1(t) \rangle = \left[ (p/2I_{1s})^{1/2} + (3p'/2)(I_{1s}/2p)^{1/2} \right] \langle \dot{\epsilon}_1(t) \rangle \quad (20)$$

同理有

$$\langle \dot{\epsilon}_2(t) \Gamma_2(t) \rangle = \left[ (p/2I_{2s})^{1/2} + (3p'/2)(I_{2s}/2p)^{1/2} \right] \langle \dot{\epsilon}_2(t) \rangle \quad (21)$$

将(20)式、(21)式代入(15)式、(16)式, 经整理得扰动平均值方程组为

$$\langle \dot{\epsilon}_1(t) \rangle = \left( -2I_{1s}A_1 + \frac{p}{2I_{1s}} + \frac{9p'}{8p}I_{1s} + \frac{3p'}{2} \right) \langle \dot{\epsilon}_1(t) \rangle - 2I_{1s}\zeta \langle \dot{\epsilon}_2(t) \rangle \quad (22)$$

$$\langle \dot{\epsilon}_2(t) \rangle = \left( -2I_{2s}A_2 + \frac{p}{2I_{2s}} + \frac{9p'}{8p}I_{2s} + \frac{3p'}{2} \right) \langle \dot{\epsilon}_2(t) \rangle - 2I_{2s}\zeta \langle \dot{\epsilon}_1(t) \rangle \quad (23)$$

为了便于分析, 将(22)、(23)式写成矩阵形式

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \langle \dot{\epsilon}_1(t) \rangle \\ \langle \dot{\epsilon}_2(t) \rangle \end{bmatrix} = \Theta \begin{bmatrix} \langle \dot{\epsilon}_1(t) \rangle \\ \langle \dot{\epsilon}_2(t) \rangle \end{bmatrix} \quad (24)$$

其中稳定性矩阵  $\Theta$  为<sup>[11]</sup>

$$\Theta = \begin{bmatrix} \Theta_{11} & \Theta_{12} \\ \Theta_{21} & \Theta_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -2I_{1s}A_1 + \frac{p}{2I_{1s}} + \frac{9p'}{8p}I_{1s} + \frac{3p'}{2} & -2I_{1s}\zeta \\ -2I_{2s}\zeta & -2I_{2s}A_2 + \frac{p}{2I_{2s}} + \frac{9p'}{8p}I_{2s} + \frac{3p'}{2} \end{bmatrix} \quad (25)$$

则噪声对模间竞争效应的影响可由  $\Theta_{11}\Theta_{22} - \Theta_{21}\Theta_{12}$  看出。

线性方程组(24)式有稳定解的条件——即两模有稳定振荡的条件为

$$T = \Theta_{11}\Theta_{22} - \Theta_{12}\Theta_{21} > 0 \quad (26)$$

由(25)式以及(9)式、(10)式计算整理得

$$T = 4[a_1'a_2'/(1-c)] G(p, p') \quad (27)$$

其中

$$\begin{aligned} G(p, p') = & 1 - \frac{(1-c)(a_1'^2A_2 + a_2'^2A_1)}{4(a_1'a_2')^2} p + \frac{(1-c)^3A_1A_2}{16(a_1'a_2')^2} p^2 - \\ & \left[ \frac{3}{4} \frac{a_1' + a_2'}{a_1'a_2'} + \frac{9}{64} \frac{(1-c)(a_1'^2A_2 + a_2'^2A_1)}{A_1A_2a_1'a_2'} \right] p' + \frac{9}{16} \frac{(1-c)}{a_1'a_2'} p^2 + \\ & \frac{3}{16} \frac{A_1a_2' + A_2a_1'}{(a_1'a_2')^2} pp' - \frac{9}{16} \frac{A_1 + A_2}{(1-c)A_2A_2} \frac{p'}{p} + \\ & \left[ \frac{81}{256} \frac{1}{A_1A_2} + \frac{27}{64} \frac{A_2a_1' + A_1a_2'}{A_1A_2a_1'a_2'} \right] \frac{p^2}{p} \end{aligned} \quad (28)$$

由(26)~(28)式可看出, 噪声对模间竞争效应的影响取决于  $G(p, p')$ 。下面通过对(28)式的分析, 定性地研究在阈值附近噪声对模间竞争效应的影响。

### 3.1 光强在阈值附近且刚超过阈值

当光强  $I$  在阈值附近且刚超过阈值时, 由于泵涨落极小, 也就是乘法噪声强度  $p'$  非常小, 则(28) 式中的含  $p'$  项均可被忽略, 因此(28) 式可写为

$$G(p, p') = G(p) = 1 - \frac{(1-c)(a_1^2 A_2 + a_2^2 A_1)}{4(a_2 a_1)^2} p + \frac{(1-c)^3 A_1 A_2}{16(a_1 a_2)^2} p^2 \quad (29)$$

下面通过对(26)、(27)、(29) 式进行判断分析, 讨论此时噪声对模间竞争效应的影响。

#### 1) $c > 1$ (强耦合区)

##### (i) 当 $a_1'$ 与 $a_2'$ 反号

若 $p = 0$		则 $T > 0$	有稳定解
$p \neq 0$	{	$G(p) > 0$	则 $T > 0$ 有稳定解
		$G(p) < 0$	则 $T < 0$ 无稳定解

##### (ii) 当 $a_1' > 0$ , 且 $a_2' > 0$

若 $p = 0$		则 $T < 0$	无稳定解
$p \neq 0$	{	$G(p) > 0$	则 $T < 0$ 无稳定解
		$G(p) < 0$	则 $T > 0$ 有稳定解

(iii) 当  $a_1' < 0$ , 且  $a_2' < 0$ , 无论  $p = 0$  或  $p \neq 0$ , 两模均无法起振, 故不存在模间竞争问题<sup>[1, 2]</sup>。

#### 2) $c < 1$ (弱耦合区)

##### (i) 当 $a_1'$ 与 $a_2'$ 反号

若 $p = 0$		则 $T < 0$	无稳定解
$p \neq 0$	{	$G(p) > 0$	则 $T < 0$ 无稳定解
		$G(p) < 0$	则 $T > 0$ 有稳定解

##### (ii) 当 $a_1' > 0$ , 且 $a_2' > 0$

若 $p = 0$		则 $T > 0$	有稳定解
$p \neq 0$	{	$G(p) > 0$	则 $T > 0$ 有稳定解
		$G(p) < 0$	则 $T < 0$ 无稳定解

(iii) 当  $a_1' < 0$  且  $a_2' < 0$ , 无论  $p = 0$  或  $p \neq 0$ , 两模均无法起振, 故不存在模间竞争问题<sup>[1, 2]</sup>。

以上分析表明, 在强耦合区内, 噪声使原来只有一个模能建立起稳定振荡而另一个模被抑制的竞争效应变为两个模可能同时建立起稳定振荡; 而在弱耦合区内, 噪声又使原本两个模均能建立起稳定振荡的竞争效应变这其中有一个模可能被抑制。

### 3.2 当光强再稍高于阈值时

当光强  $I$  再稍大些时, 随着  $I$  的增大, 泵涨落强度亦开始增大, 此时(28) 式右边的含  $p'$  项则不可再被忽略, 这时噪声对模间竞争效应的影响就由加法噪声和乘法噪声共同决定, 影响的程度由(28) 式决定。

## 4 远高于阈值时噪声对模间竞争效应的影响

在远高于阈值情况下, 光强  $I$  很大, 且有  $p' > p$ , 这时(5)、(6) 式近似为

$$I_1' = 2(a_1 - A_1 I_1 - \zeta I_2) I_1 + 2p + \frac{p}{\sqrt{2p'}} \Gamma_1(t) + \sqrt{2p'} I_1 \Gamma_1(t) \quad (30)$$

$$I_2' = 2(a_2 - A_2 I_2 - \zeta I_1) I_2 + 2p + \frac{p}{\sqrt{2p'}} \Gamma_1(t) + \sqrt{2p'} I_2 \Gamma_1(t) \quad (31)$$

将(8)式代入(30)式、(31)式,在定态光强  $I_{1s}$ 、 $I_{2s}$  附近作线性化,得线性化的扰动方程组为

$$\dot{\epsilon}_1 = -2I_{1s}[A_1 \epsilon_1(t) + \zeta \epsilon_2(t)] + \sqrt{2p'} \epsilon_1(t) \Gamma_1(t) \quad (32)$$

$$\dot{\epsilon}_2 = -2I_{2s}[A_2 \epsilon_2(t) + \zeta \epsilon_1(t)] + \sqrt{2p'} \epsilon_2(t) \Gamma_1(t) \quad (33)$$

这时发现,在远高于阈值时,在线性化过程中,加法噪声项(含  $p$  项)被消去,只剩下乘法噪声项(含  $p'$  项),说明这时噪声对模间竞争效应的影响是由乘法噪声起关键作用。

类似于第三节,在(32)、(33)式两边取平均,并运用 Novikov 定理<sup>[3-5]</sup>,计算整理得此时扰动平均值方程组为

$$\langle \dot{\epsilon}_1(t) \rangle = (-2I_{1s}A_1 + 2p') \langle \epsilon_1(t) \rangle - 2I_{1s}\zeta \langle \epsilon_2(t) \rangle \quad (34)$$

$$\langle \dot{\epsilon}_2(t) \rangle = (-2I_{2s}A_2 + 2p') \langle \epsilon_2(t) \rangle - 2I_{2s}\zeta \langle \epsilon_1(t) \rangle \quad (35)$$

然后将(34)式、(35)式写成矩阵形式,得到稳定性矩阵  $\Theta$  时而得到稳定解条件  $T > 0$ , 此时

$$T = 4[a_1' a_2' / (1 - c)] G(p') \quad (36)$$

其中

$$G(p') = 1 - [(a_1' + a_2') / a_1' a_2'] p' + [(1 - c) / a_1' a_2'] p'^2 \quad (37)$$

下面运用(26)式以及(36)式、(37)式进行判断分析在远高于阈值情况下,噪声对模间竞争效应的具体影响。

### 1) $c > 1$ (强耦合区)

#### (i) 当 $a_1'$ 与 $a_2'$ 反号

若 $p = 0$	则 $T > 0$	有稳定解
$p' \neq 0$	$G(p') > 0$	则 $T > 0$ 有稳定解
	$G(p') < 0$	则 $T < 0$ 无稳定解

#### (ii) 当 $a_1' > 0$ , 且 $a_2' > 0$

若 $p' = 0$	则 $T < 0$	无稳定解
$p' \neq 0$	$G(p') > 0$	则 $T < 0$ 无稳定解
	$G(p') < 0$	则 $T > 0$ 有稳定解

(iii) 当  $a_1' < 0$  且  $a_2' < 0$ , 无论  $p' = 0$  或  $p' \neq 0$ , 两模均无法起振, 故不存在模间竞争问题<sup>[1, 2]</sup>。

以上分析表明,在远高于阈值时,在强耦合区,若无噪声存在时,两模的竞争效应表现为只有一个模能建立起稳定振荡,而另一个模被抑制。但当有噪声存在时( $p' \neq 0$ ),两个模可能同时建立起稳定振荡。

在不同参数情况下,在  $a_1' \sim a_2'$  平面内,噪声驱动有双模激光模间竞争效应分布如图 1~图 4 所示。每幅图中的曲线 1 和曲线 2, 都对应于(28)式,是将(28)式左边取为零,将耦合常数  $c$  和噪声强度  $p'$  看作参数后,  $a_2'$  随  $a_1'$  变化的函数曲线。其中曲线 1 在第一象限内是两模均被抑制区域和两模均能建立起稳定振荡区域的分界线。曲线 2 在第二、四象限内是一个模能建立起稳定振荡、另一个模被抑制区域和两模均被抑制区域的分界线。图中的阴影部分、打点部分、打\* 部分以及空白部分,在不同的图以及不同的象限中,代表不同的竞争效应区。

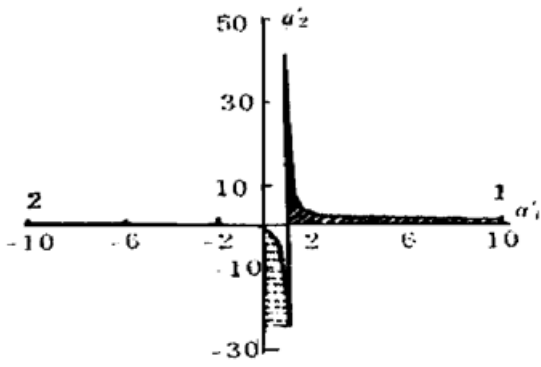


Fig. 1 The distribution of mode-competition in  $a_1 \sim a_2$  plane, setting  $c = 2, p' = 1$

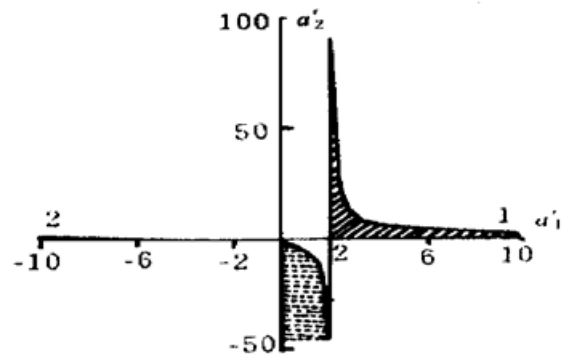


Fig. 2 The distribution of mode-competition in  $a_1 \sim a_2$  plane, setting  $c = 2, p' = 2$

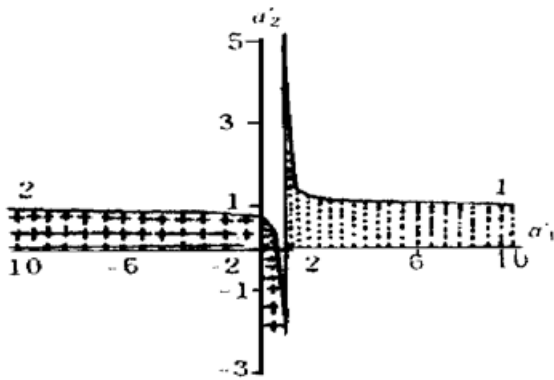


Fig. 3 The distribution of mode-competition in  $a_1 \sim a_2$  plane, setting  $c = 0.5, p' = 1$

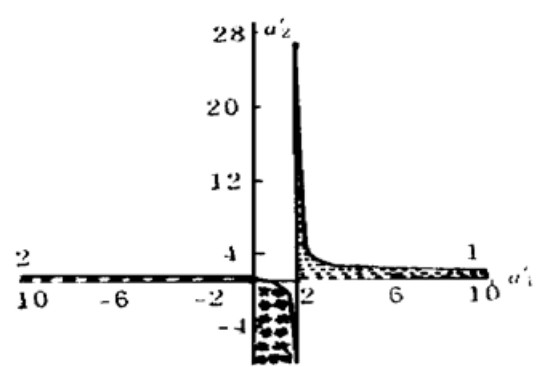


Fig. 4 The distribution of mode-competition in  $a_1 \sim a_2$  plane, setting  $c = 0.5, p' = 2$

在图 1、图 2 中，用打点部分表示二、四象限内两模均被抑制的区域；用阴影部分表示第一象限内两模均能建立起稳定振荡的区域。无噪声时，在图 1、图 2 的二、四象限 ( $a_1$  与  $a_2$  反号) 的整个区域内，两模的竞争效应表现为一个模最终能建立起稳定振荡，而另一个模被抑制；在第一象限 ( $a_1 > 0$  且  $a_2 > 0$ ) 的整个区域内，两模均被抑制。当噪声存在时，情况就发生了变化。一方面，上述的竞争效应不再在那些象限的整个区域范围内都显现了；另一方面，又出现了新的竞争效应。正如图 1、图 2 所示，此时在两图的第二、四象限内，只有打点部分以外的区域里，两模的竞争效应才继续表现为一个模最终能建立起稳定振荡，另一个模被抑制，而在打点部分以内的区域里，两模均被抑制；在两图的第一象限内，也只有阴影部分以外的区域里，两模被抑制，而在阴影部分以内的区域里，两模出现了新的竞争效应，表现为两个模均能建立起稳定振荡。从图 1 和图 2 的比较中，还可以看出，随着  $p'$  值的增大，阴影部分面积和打点部分面积都在不断扩大。说明在两模的强耦合区内，随着噪声强度的不断增强，噪声对两模竞争效应的影响不断加强。

2)  $c < 1$  (弱耦合区)

(i) 当  $a_1$  与  $a_2$  反号

若 $p' = 0$		则 $T < 0$	无稳定解
$p' \neq 0$	$\begin{cases} G(p') > 0 \\ G(p') < 0 \end{cases}$	则 $T < 0$	无稳定解
		则 $T > 0$	有稳定解

(ii) 当  $a_1 > 0$ , 且  $a_2 > 0$

若 $p' = 0$	则 $T > 0$	有稳定解
$p' \neq 0$	$G(p') > 0$	有稳定解
	$G(p') < 0$	无稳定解

(iii) 当  $a_1' < 0$  且  $a_2' < 0$ , 无论  $p' = 0$  或  $p' \neq 0$ , 两模均都无法起振, 故不存在模间竞争问题<sup>[1, 2]</sup>。

以上分析表明, 远高于阈值时, 在弱耦合区, 若无噪声存在, 两模的竞争效应表现为两个模能同时建立起稳定振荡。但当有噪声存在时 ( $p' \neq 0$ ), 两模中可能有一个被抑制。这一点从图 3、图 4 中看得更为清楚。在图 3、图 4 中, 用打\* 号部分表示二、四象限内一个模能建立起稳定振荡, 另一个模被抑制区域; 用打点部分表示第一象限内两模均被抑制区域。无噪声时, 在图 3、图 4 第一象限 ( $a_1', a_2' > 0$ ) 的整个区域内, 两模的竞争效应表现为两模能同时建立起稳定振荡; 在第二、四象限 ( $a_1'$  与  $a_2'$  反号) 的整个区域内, 两模均被抑制。当有噪声存在时, 情况就发生了变化。正如图 3、图 4 所示, 此时在两图的第一象限内, 只有打点部分以外的区域里, 两模的竞争效应才继续表现为两模能同时建立起稳定振荡, 而在打点部分以内, 两模均被抑制; 在第二、四象限, 也只有打\* 号以外的区域里, 两模被抑制, 打\* 号以内的区域里, 出现了新竞争效应, 表现为一个模建立稳定振荡, 而另一个模被抑制。从图 3、图 4 的比较中, 还可看出, 随着  $p'$  值的增大, 打\* 号和打点部分的面积不断扩大, 这说明在弱耦合区, 随着噪声强度的增强, 噪声对模间竞争效应的影响也是不断加强。

### 参 考 文 献

- [1] 冯志超, 程哲源, 许 冰, 激光物理, 成都, 成都电讯工程学院出版社, 1988
- [2] 李福利, 高等激光物理学. 合肥, 中国科技大学出版社, 1992
- [3] Wu Dajin, Cao Li, Ke Shengzhi, Bistable kinetic model driven by correlated noises: steady-state analysis. *Phys. Rev. (E)*, 1994, **50**(4) : 2496~ 2502
- [4] E. Peacock-Lopez, F. Javier de La Rubia, Bruce J. West *et al.*, Dye-laser equation with saturation and its best Fokker-Planck equation. *Phys. Rev. (A)*, 1989, **39**(8) : 4046~ 4035
- [5] J. M. Sancho, M. S. Miguel, S. L. Kata *et al.*, Analytical and numerical studies of multiplicative noise. *Phys. Rev. (A)*, 1982, **26**(3) : 1589~ 1609
- [6] Shiqun Zhu, Steady-state analysis of a two-mode laser with multiplicative white noise. *Phys. Rev. (A)*, 1992, **45**(11) : 8148~ 8153

## The Influence of Noise on Two-Mode Competition Effects

Chen Limei    Cao Li    Qiu Junlin

(Department of Physics and National Laboratory of Laser Technology,  
Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074)

(Received 26 October 1996; revised 11 April 1997)

**Abstract** The influence of noise on two-mode competition is discussed. Using linear stability analysis, some significant results are obtained.

**Key words** mode competition effect, two mode laser, Novikov theorem.