

П.А. Воротнев, **А.Г. Жиглинский**, А.М. Измайлов, А.П. Лютиков, В.А. Озолов

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТИЧНО НАРУШЕННОЙ КОНКУРЕНЦИИ МОД В ПОЛИХРОМАТИЧЕСКОМ ИМПУЛЬСНОМ ЛАЗЕРЕ НА КРАСИТЕЛЕ

Теоретически и экспериментально исследовано влияние геометрии резонатора на интенсивность спектральных компонент, генерируемых полихроматическим импульсным лазером на красителе, при частично нарушенной конкуренции мод. Обоснована и экспериментально продемонстрирована возможность ее полного нарушения. Получена генерация участка сплошного спектра, ширина которого сравнима с шириной спектра люминесценции активной среды и значительно превосходит ширину спектра генерации лазера с недисперсионным резонатором в тех же условиях.

Для решения многих научных и прикладных задач требуется многоцветное и широкополосное лазерное излучение, перестраиваемое в широкой спектральной области. Основной физической причиной, препятствующей генерации такого излучения лазерами, активные среды которых обладают однородно уширенным контуром усиления, является конкуренция мод. Она, в частности, приводит к сужению спектра генерации таких лазеров. Для нарушения конкуренции мод предложено использовать пространственное разделение каналов генерации излучения различных длин волн [1].

При этом, как показано в [2], становится возможным управление спектральной плотностью генерируемого излучения за счет перераспределения пространственной плотности излучения накачки в активной среде. Для пространственного разделения каналов генерации авторами предложены и исследованы точно отображающие резонаторы [3] и на их основе разработаны полихроматические импульсные лазеры на красителе [1, 4]. При экспериментальном исследовании этих лазеров было обнаружено [5, 6], что в ряде случаев между пространственно разделенными участками активной среды возникает оптическая связь, в результате чего конкуренция мод оказывается нарушенной не полностью, а лишь частично. Целью данной статьи является исследование частично нарушенной конкуренции мод, а также условий, при которых возможно ее полное нарушение.

В рамках данной статьи ограничимся исследованием полихроматического лазера, предложенного в [1] (рис. 1). Спонтанное излучение накачанного участка 1 активной среды 3 раскладывается в спектр внутрирезонаторным спектральным прибором 4, состоящим из дифракционной решетки 5 и объектива 6, возвращается обратно и усиливается на той длине волны, излучение которой отражается от дифракционной решетки автоколлимационно. Правая часть резонатора (объектив 7 и резонаторное зеркало 8) отображает накачанные участки сами в себя.

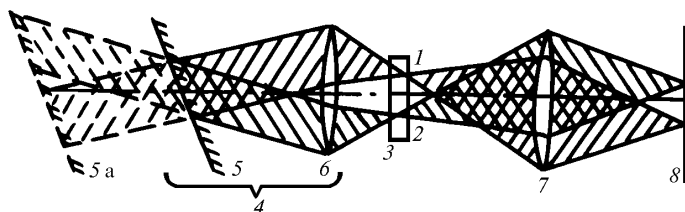


Рис. 1. Оптическая схема полихроматического лазера на красителе

Таким образом, для каждого участка активной среды положительная обратная связь осуществляется на длине волны, для которой выполнены условия автоколлимационного отражения. При этом если усиление излучения всех остальных длин волн, отраженных от решетки

неавтоколлимационно, не будет достаточным для генерации или это излучение будет виньетировано оптическими элементами [4], то в каждом участке будет генерировать только одна длина волны, т.е. происходит полное нарушение конкуренции мод.

При накачке нескольких участков активной среды (например 1 и 2) возможен случай, когда излучение, испущенное одним участком, после неавтоколлимационного отражения от дифракционной решетки фокусируется объективом b в другой накачанный участок и усиливается в нем. В этом случае конкуренция происходит только между дополнительной и основными (для которых происходит автоколлимационное отражение) компонентами спектра, а основные компоненты непосредственно не конкурируют между собой. Такая ситуация была названа частично нарушенной конкуренцией мод.

Кроме того, если накачивать только один участок активной среды (например участок 1), то излучение с длиной волны λ_0 будет последовательно проходить через ненакачанный участок 2 и накачанный участок 1, т.е. усиливаться в два раза реже, чем излучение основной длины волны λ_0 . Однако если последняя расположена на крыле контура усиления активной среды, то первая может оказаться в его максимуме или вблизи него и условия усиления для нее будут лучше. Как показано в нашей работе [6], в этом случае будет генерировать участок сплошного спектра, расположенный вокруг максимума контура усиления активной среды.

Проведенный в [5, 6] анализ показывает, что конкуренция мод существенным образом зависит от соотношения времен жизни основных τ_0 и дополнительных τ_d компонент спектра, которое может быть изменено за счет перемещения дифракционной решетки 5 вдоль оптической оси резонатора (см. рис. 1). Для реализации случая частично нарушенной конкуренции мод необходимо, чтобы лучи, испущенные накачанным участком 1 и сфокусированные объективом b в участок 2, не были виньетированы объективами 5 и 7 при последующих проходах. Различной штриховкой на рис.1 показаны все лучи, проходящие через первый либо второй участки активной среды без виньетирования. Как видно из рисунка, для возникновения оптической связи между участками 1 и 2 необходимо перекрытие соответствующих пучков на дифракционной решетке. Легко показать, что такое перекрытие максимально, когда расстояние l_1 от решетки до объектива b , выраженное в фокусных расстояниях этого объектива, равно 1.

При удалении решетки от этого положения, например в положение 5 а, оптическая связь между участками активной среды 1 и 2 устраняется, т.е. реализуется случай полностью нарушенной конкуренции мод.

В предположении, что время жизни фотонов пропорционально отношению площадей соответствующих пучков на дифракционной решетке, получаем следующее выражение для отношения времен жизни фотонов дополнительной и основной компонент спектра:

$$\frac{\tau_d}{\tau_0} = \frac{2 \arccos y - 2|y|\sqrt{1-y^2}}{\pi}, \quad y \equiv (1-l_1)(\Delta x/2\omega_0), \quad (1)$$

где Δx – расстояние между участками 1 и 2; ω_0 – площадь пучка основной компоненты на дифракционной решетке. Значения интенсивностей генерируемых компонент, полученные авторами в [5] в зависимости от отношения времен жизни τ_0/τ_d , с учетом соотношения (1) могут быть выражены в зависимости от расстояния l_1 . Результатам этих расчетов соответствуют кривые, приведенные на рис. 2.

На этом рисунке можно выделить три области. При значениях l_1 , меньше чем 0,85, генерируют только основные компоненты с интенсивностями J_1 и J_2 . В области $0,85 < l_1 < 0,9$ генерирует одна из основных и дополнительная компонента, причем изменение расстояния l_1 приводит к существенному перераспределению интенсивностей между ними. При значениях $l_1 > 0,9$ основные компоненты полностью подавлены и происходит генерация только дополнительной компоненты. Время жизни фотонов этой компоненты, а следовательно, и ее интенсивность зависят от l_1 . Точками на рис. 2 показаны экспериментальные результаты для соответствующих компонент.

Некоторое расхождение теоретических и экспериментальных результатов в области, в которой происходит смена режимов генерации, обусловлено, на наш взгляд, следующим. Расчеты выполнены для стационарного режима генерации. Однако вблизи границ указанных выше областей условия усиления для соответствующих компонент оказываются примерно одинаково-

выми, и за время импульса (приблизительно 15 нс при накачке раствора родамина 6Ж в этаноле эксимерным лазером) стационарный режим не достигается. Таким образом, изменяя положение дифракционной решетки в лазере [1], можно влиять на конкуренцию мод и, в частности, реализовать условия, при которых она нарушена полностью.

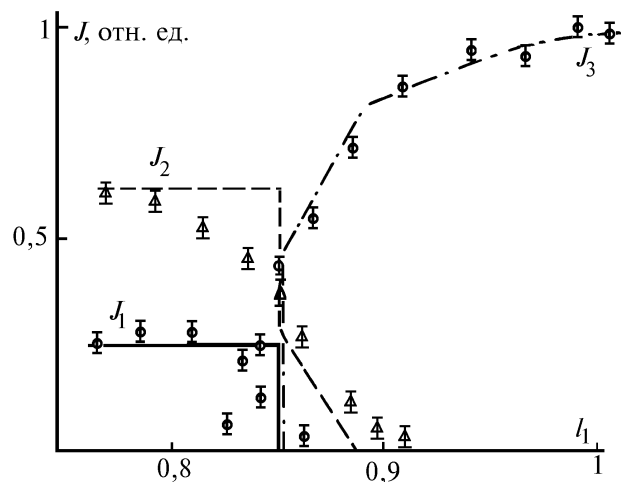


Рис. 2. Зависимость относительных интенсивностей генерируемых компонент от расстояния между дифракционной решеткой и объективом

Нарушение конкуренции мод, как уже отмечалось выше, позволяет значительно увеличить ширину генерируемого участка сплошного спектра в импульсных лазерах на красителе. Эта возможность была осуществлена экспериментально для различных растворов чистых красителей или их смесей (таблица).

Для сравнения в таблице приведены измеренные значения ширины спектра люминесценции используемых активных сред и ширины спектра генерации лазера с недисперсионным резонатором при тех же экспериментальных условиях. Ширина всех участников спектра измерялась на уровне 0,2 от максимального значения. Представленные в таблице результаты показывают, что ширина спектра генерации лазера с нарушенной конкуренцией мод составляет 50–80% от ширины спектра люминесценции активной среды и значительно, в 3–8 раз, превосходит ширину спектра генерации лазера с недисперсионным резонатором. Отметим, что приведенные значения получены при накачке активной среды излучением эксимерного лазера (импульсная мощность 500 кВт) и могут быть увеличены, как следует из [2], для лазера с нарушенной конкуренцией мод за счет дальнейшего повышения мощности накачки.

Ширина спектра генерации лазеров на красителе

Краситель (растворитель)	Ширина спектра люминесценции $\Delta\lambda_0$, нм	Лазер с недисперсионным резонатором		Лазер с нарушенной конкуренцией мод		
		ширина спектра генерации $\Delta\lambda_1$, нм	$\frac{\Delta\lambda_1}{\Delta\lambda_0}$	ширина спектра генерации $\Delta\lambda_2$, нм	$\frac{\Delta\lambda_2}{\Delta\lambda_0}$	$\frac{\Delta\lambda_2}{\Delta\lambda_1}$
Флуоресцеин натрия (этанол щелочной)	45	8	0,18	22	0,50	2,7
Родамин 6Ж (этанол)	46	6	0,13	29	0,63	4,8
Родамин 6Ж (этиленгликоль)	46	7	0,15	29	0,63	4,1
Пирилевая соль (ацетон)	81	8	0,10	62	0,77	7,8
Родамин 6Ж + оксазин 17 (этанол)	138	22	0,16	115	0,83	5,2

Таким образом, исследована частично нарушенная конкуренция мод в полихроматическом импульсном лазере на красителе. Показано, что изменение геометрии резонатора позволяет полностью нарушить конкуренцию мод и получить генерацию участка сплошного спектра, ширина которого сравнима с шириной контура усиления активной среды.

1. Жиглинский А.Г., Измайлов А.М. // Вестн. СПбГУ. Сер.4. Физ. Хим. 1992. Вып. 4. N 25. С. 71–73.
2. Жиглинский А.Г., Измайлов А.М., Смирнова И.А., Воротнев П.А. // Вестн. Лен. ун-та. Сер. 4. Физ. Хим. 1991. Вып. 2. N 11. С. 8–12.
3. Жиглинский А.Г., Измайлов А.М., Смирнова И.А. // Вестн. Лен. ун-та. Сер. 4. Физ. Хим. 1991. Вып. 4. N 25. С. 15–20.
4. Воротнев П.А., Жиглинский А.Г., Измайлов А.М. // Вестн. СПбГУ. Серия 4. Физ. Хим. 1992. Вып. 4. N 25. С. 73–75.
5. Абраменко М.Е., Воротнев П.А., Жиглинский А.Г., Измайлов А.М. // Опт. и спектр. 1993. Т. 74. Вып. 3. С. 603–610.
6. Воротнев П.А., Жиглинский А.Г., Измайлов А.М. // Опт. и спектр. 1993. Т. 75. Вып. 6. С. 1307–1313.

Научно-исследовательский институт физики
Санкт-Петербургского ун-та

Поступила в редакцию
18 мая 1995 г.

P. A. Voroptnev, A. G. Zhiglinskii, A. M. Izmailov, A. P. Lutikov,
V. A. Ozolov. **Investigation of Partially Violated Modes Competition in Polychromatic Pulse Dye Laser.**

The influence of cavity parameters upon intensity of spectral components generated by polychromatic pulse dye laser is studied in the situation when modes competition is partially violated. It is shown that full violation of modes competition is possible. The lasing continuum width obtained is much broader than in the traditional dye laser with nondispersive cavity.