

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗЛУЧЕНИЯ ОКГ НА НЕОДИМОВОМ СТЕКЛЕ С ПАССИВНЫМ ЗАТВОРОМ, ОБЛАДАЮЩИМ КОНЕЧНЫМ ВРЕМЕНЕМ РЕЛАКСАЦИИ

В. И. Малышев, А. А. Сычев, В. А. Бабенко

Соотношение между временем релаксации  $\tau_{\text{рел}}$  заселенности уровней красителей, используемых в качестве пассивных затворов ОКГ, и длительностью  $\Delta t$  ультракоротких импульсов (УКИ) имеет существенное значение для получения полной самосинхронизации мод, т. е. выделения на аксиальном периоде излучения одного УКИ с длительностью  $\Delta t \sim (c\Delta\nu)^{-1}$ , определяемой шириной спектра излучения  $\Delta\nu$ .

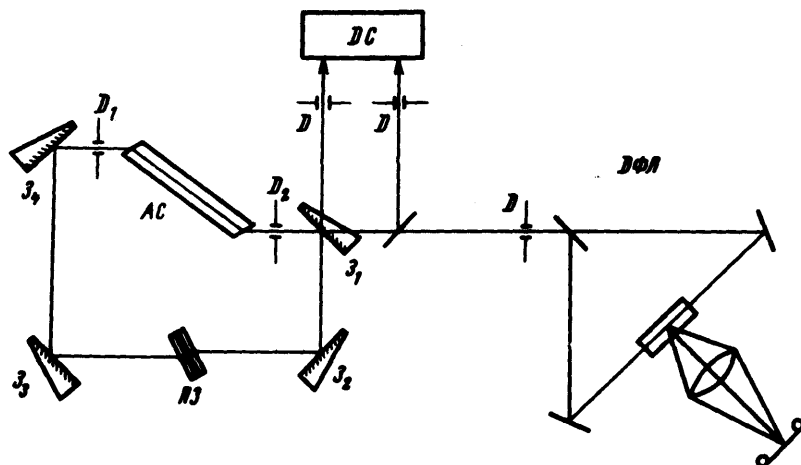


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: АС — активный стержень (неодимовое стекло)  $\varnothing 15 \times 295 \text{ мм}^3$ , ПЗ — кювета толщиной 1 мм с пассивным затвором. Коэффициенты отражения зеркал:  $R_1 = 0,82$ ;  $R_2 = R_3 = R_4 = 1,0$ . Диаметр диафрагм  $D_1$  и  $D_2$  — 2 мм. Длина резонатора — 200 см. ДС — дифракционный спектрограф, ДФЛ — установка для регистрации треков двухфотонной люминесценции. Диафрагмы  $D$  использовались для выделения излучения, соответствующего расходимости аксиальных мод ОКГ

Существующие теоретические работы [1, 2] по самосинхронизации мод в ОКГ с пассивным затвором предполагают бесконечно малое время релаксации красителя, т. е.  $\tau_{\text{рел}} \ll \Delta t$ . Вопрос же о работе ОКГ с пассивным затвором, имеющим конечное время релаксации, теоретически мало изучен. Поэтому представляет интерес исследование характеристик излучения ОКГ с целью установления соотношения между  $\tau_{\text{рел}}$  и  $\Delta t$  для применяемых в настоящее время пассивных затворов в ОКГ на неодимовом стекле.

Целью данной работы является оценка времени релаксации широко используемых полиметиновых красителей<sup>1)</sup> и экспериментальное исследование характеристик излучения ОКГ с такими затворами.

Схема экспериментальной установки показана на рис. 1. Использовался кольцевой резонатор, поскольку при такой схеме в спектре излучения не возникает структура, связанная с положением кюветы, и, кроме того, кольцевая схема позволяет исследовать характеристики излучения, распространяющегося в противоположных направлениях. Были приняты меры для устранения "паразитной" селекции мод. Пропускание кюветы с пассивным затвором на длине волны генерации неодимового ОКГ составляло  $\approx 50\%$ . Для выделения излучения только аксиальных мод ОКГ использовались диаграммы  $D_1$  и  $D_2$ . Спектры регистрировались с помощью дифракционного спектрографа (ДС) с разрешением  $\approx 15 \text{ см}^{-1}$ .

Если использованные нами красители обладают конечным временем релаксации и реализуется случай  $\tau_{\text{рел}} > \Delta t$ , то можно предположить, что изменение заселенности рабочих уровней в таких красителях будет происходить за счет поглощения энергии излучения за время порядка времени релаксации. Пассивный затвор будет при этом просветляться, когда поглощенная энергия превосходит характерный для данного красителя уровень. И поскольку интенсивность излучения ОКГ носит шумовой характер, то затвор будет выделять из этой картины не одиночные УКИ (как в случае  $\tau_{\text{рел}} \ll \Delta t$ ), а наиболее интенсивные ее участки — т. е. группы УКИ, длительность которых может быть различной.

Для исследования длительности выделяемых групп УКИ излучения нами использовалась методика двухфотонной люминесценции (ДФЛ), поскольку наличие на аксиальном периоде группы близко расположенных УКИ должно проявиться на треке ДФЛ в появлении "плато", на котором имеется пик с длительностью  $\Delta t \sim (c \Delta \nu)^{-1}$ . Размер этого "плато" и будет характеризовать длительность группы. Поскольку при условии  $\tau_{\text{рел}} > (c \Delta \nu)^{-1}$  длительность выделяемых групп различна, то это должно отразиться в различной протяженности "плато".

Типичная микрофотограмма трека показана на рис. 2, а. Как показали результаты статистической обработки большого числа ( $\approx 100$ ) треков (при неизменных условиях работы ОКГ), размер "плато" действительно изменяется от вспышки к вспышке, что согласуется с предполагаемым механизмом выделения групп. Результаты обработки треков ДФЛ приведены на рис. 3, где показана полученная экспериментально нормированная плотность вероятности длительности групп УКИ.

Как следует из графика на рис. 3, пассивным затвором выделялись группы с длительностью от 18 до 85  $\mu\text{сек}$ , причем группы с длительностью меньше 18  $\mu\text{сек}$  нами не наблюдались. Этот факт свидетельствует об отсутствии выделения одиночных УКИ, характерного для случая  $\tau_{\text{рел}} \ll (c \Delta \nu)^{-1}$ , т. е. использованные нами красители обладают значительным временем релаксации  $\tau_{\text{рел}} > \Delta t$ . Время релаксации, оцениваемое нами по наименьшей длительности выделяемой группы

<sup>1)</sup> Отечественные красители, известные под номерами 3955 и 1000.

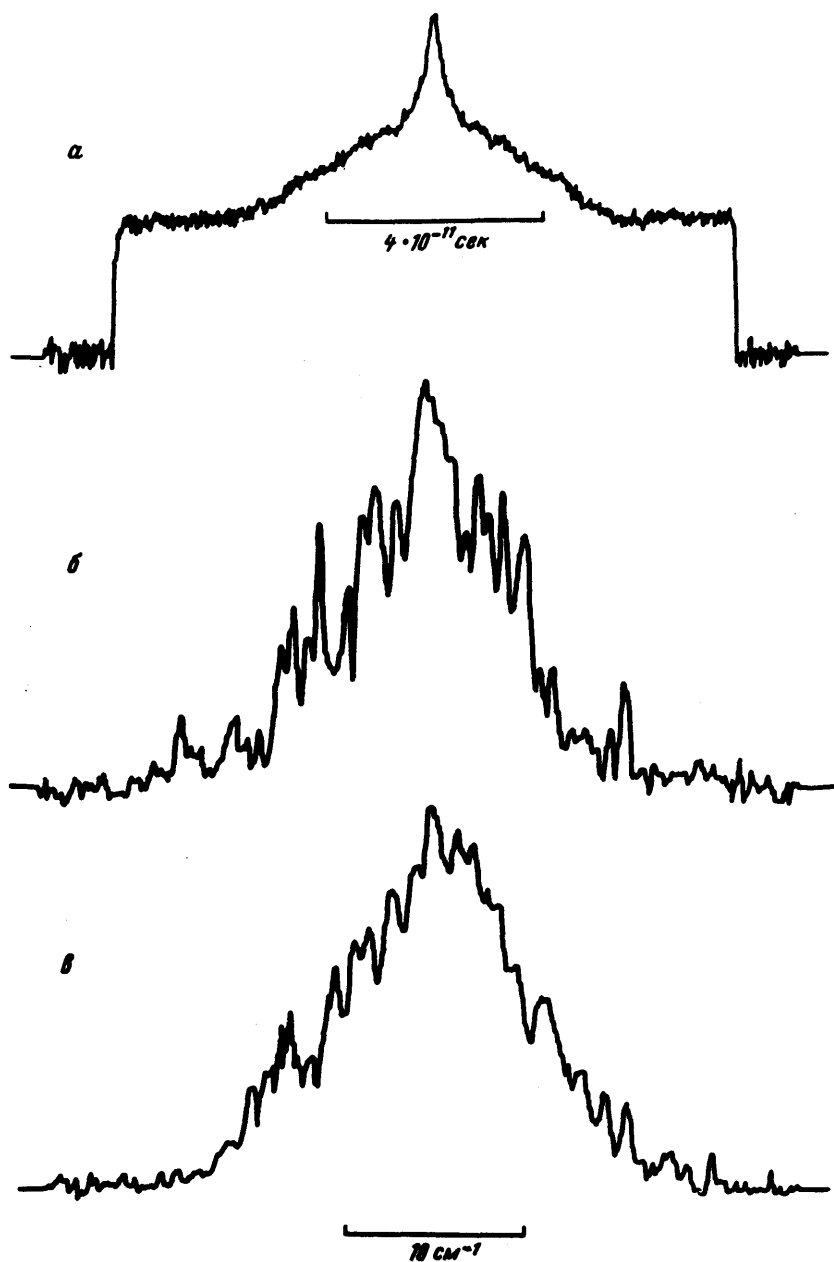


Рис. 2. а — микрофотограмма трека двухфотонной люминесценции. Ширина центрального пика составляет  $\sim 2,5 \cdot 10^{-12} \text{ сек}$ ; б, в — микрофотограммы спектров излучения, распространяющегося в резонаторе ОКГ в противоположных направлениях

УКИ, составляет приблизительно  $\sim 2 \cdot 10^{-11} \text{ сек}$ . Средняя же длительность группы составляет около 40 нсек. Если предположить, что расстояние между отдельными УКИ в излучении того же порядка, что и их длительность  $\Delta t \sim (c \Delta \nu)^{-1}$  ( $\Delta \nu$  в нашем случае составляло  $10 \text{ см}^{-1}$ ),

то в среднем выделяются группы, состоящие примерно из 20 импульсов. Тогда согласно работе [3], при существовании на аксиальном периоде группы УКИ спектр излучения всегда должен иметь нерегулярную структуру, определяемую интервалами между импульсами в группе и их амплитудами, что и наблюдалось на эксперименте (рис. 2, б).

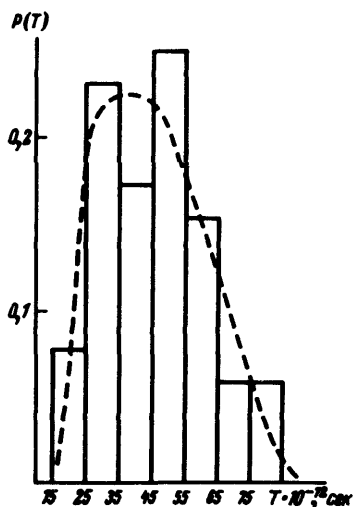


Рис. 3. Экспериментально полученное распределение плотности вероятности  $P(T)$  длительностей групп УКИ для раствора красителя №3955 в нитробензоле. (Данные для красителя №1000 незначительно отличаются от приведенных)

Полученные результаты подтверждают сделанные предположения, что пассивный затвор с  $\tau_{\text{рел}} > (c \Delta \nu)^{-1}$  выделяет отрезки шумовой картины генерации общей длительностью порядка времени релаксации. Поскольку в кольцевом резонаторе выделение пассивным затвором групп импульсов, распространяющихся в противоположных направлениях, происходит из различных шумовых картин, то временные структуры этих групп будут различны и статистически независимы. Следовательно, и структура спектров излучений, распространяющихся в противоположных направлениях, должна быть также различной и нерегулярной. Для подтверждения этого проводились одновременные исследования спектров излучений, распространяющихся в противоположных направлениях. Для этой цели излучение обоих каналов проектировалось на различные по высоте участки щели спектрографа, и при каждой вспышке получались независимые спектры излучений обоих направлений. Было получено большое число двойных фотографий спектров излучения. На всех спектрах наблюдалась нерегулярная, неповторяющаяся от вспышки к вспышке структура, и, что существенно, структура спектров излучений, распространяющихся в резонаторе в противоположных направлениях, всегда была различной. В качестве примеров на рис. 2 б, в приведены типичные микрофотографии таких "двойных" спектров, из которых отчетливо видно различие в структуре.

Таким образом, для использованных в нашем эксперименте красителей реализуется случай  $\tau_{\text{рел}} > (c \Delta \nu)^{-1}$ , и поэтому получение режима полной самосинхронизации мод с широкими спектрами излучения практически невозможно. Удовлетворить соотношению  $\tau_{\text{рел}} \ll (c \Delta \nu)^{-1}$ , при котором для исследованных нами красителей существует заметная вероятность полной самосинхронизации мод, можно, например, путем

уменьшения  $\Delta\nu$ . Как показано нами в работе [3], при уменьшении ширины спектра от  $\Delta\nu = 20 \text{ см}^{-1}$  до  $\Delta\nu = 2 \text{ см}^{-1}$ , вероятность полной самосинхронизации мод значительно увеличивается, что достигалось за счет увеличения длительности УКИ. Однако наиболее перспективным, с точки зрения получения одиночных импульсов большой мощности при значительных ширинах спектра, является поиск и использование красителей, время релаксации которых  $\tau_{\text{рел}}$  меньше длительности УКИ в излучении  $\Delta t \sim (c \Delta\nu)^{-1}$ .

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

Поступила в редакцию  
5 апреля 1971 г.

### Литература

- [1] В.С.Летохов. ЖЭТФ, 55, 1943, 1968.  
[2] Т.И.Кузнецова. ЖЭТФ, 57, 1673, 1969.  
[3] В.И.Малышев, А.В.Масалов, А.А.Сычев. ЖЭТФ, 59, 48, 1970.
-