

Письма в ЖЭТФ, том 9, стр. 564 - 567

20 мая 1969 г.

**ЧЕТЫРЕХФОТОННОЕ РЕЗОНАНСНОЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ В ОПТИЧЕСКИХ ГЕНЕРАТОРАХ
НА РАСТВОРАХ КРАСИТЕЛЕЙ**

Л.Д.Деркачева, А.И.Крымова

В настоящей работе сообщается о наблюдении четырехфотонного параметрического взаимодействия в растворах красителей, приводящего к появлению в спектральной области излучения красителя узкой интенсивной линии с управляемой частотой.

Эффект изменения частоты был получен при использовании экспериментальной схемы, приведенной на рис. 1. Раствор красителя заключался в цилиндрическую кювету, на один из торцов которой наносилось диэлектрическое покрытие с отражением 85% в области $\lambda \sim 1 \text{ мкм}$. Кювета помещалась в поле неодимового лазера с импульсной добротностью, плотность мощности излучения которого составляла $\sim 50 \text{ Мвт/см}^2$. Оптическая ось резонатора с красителем составляла угол α с направлением излучения неодимового лазера. Излучение красителя регистрировалось на спектрографе СТЗ-1. В качестве рабочего вещества были использованы растворы красителя, являющегося аналогом пентакарбоцианина, о получении генерации на котором сообщалось ранее [1]. Растворителями являлись нитробензол и этиловый спирт. Концентрация молекул в растворе имела порядок 10^{18} мол/см^3 .

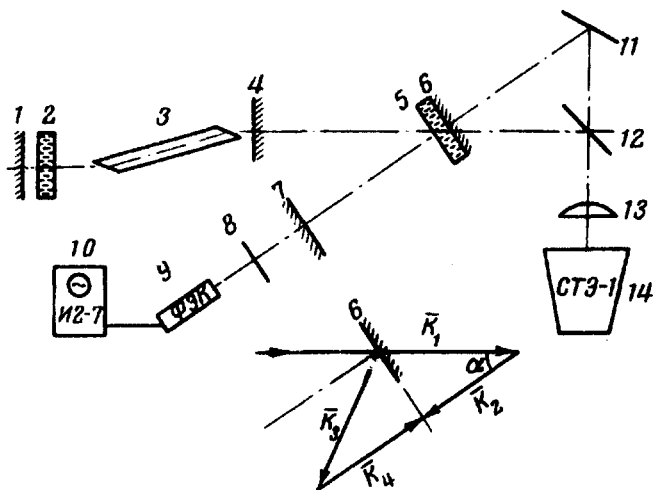


Рис. 1. Схема эксперимента: 1, 4, 6, 7 – зеркала; 2 – кювета с пассивным затвором, 3 – стержень из неодимового стекла, 5 – кювета с исследуемым раствором красителя; 8 – светофильтр; 9 – коаксиальный фотозэлемент; 10 – осциллограф, 11, 12 – поворотные пластинки, 13 – цилиндрическая линза, 14 – спектрограф

Были исследованы спектры генерации красителя при различных углах α . Результаты приведены на рис. 2 (см. вклейку). При $\alpha < 9^\circ$ спектр представлял собой широкую полосу ($10850 - 11050 \text{ \AA}$), обычную для генера-

ции красителя (рис. 2, а). При $\alpha = 9^\circ 10'$ (рис. 2, б) наряду с упомянутой полосой наблюдалась интенсивная спектральная линия, сдвинутая в сторону более коротких длин волн по отношению к спектру генерации красителя ($\lambda = 10790 \text{ \AA}$). Увеличение угла α вызывало смещение этой линии в длинноволновую сторону (рис. 2, в – ж). В ряде случаев, когда линия попадала в спектральную область генерации красителя, происходило резкое ослабление полосы генерации красителя или она исчезала совсем (рис. 2, и, д). Дальнейшее увеличение угла α приводило к смещению линии за "красный" край области генерации красителя (рис. 2, е, ж). При $\alpha > 16^\circ 30'$ вновь наблюдался только типичный спектр генерации красителя.

Обработка спектров показала, что длина волны одиночной линии λ связана с косинусом угла α соотношением $\lambda = \lambda_H / \cos \alpha$, где λ_H – длина волны излучения неодимового лазера.

Вариация концентрации красителя приводила к смещению спектра генерации, в то время как положение линии определялось только углом α .

Появление интенсивного излучения в виде одиночной линии, изменяющейся по частоте в зависимости от угла между направлением излучения неодимового лазера и направлением излучения лазера на красителе, интерпретируется нами как проявление параметрического четырехфотонного взаимодействия.

В нашем эксперименте краситель, электронный возбужденный уровень которого заселен инверсно по отношению к системе электронно-колебательных уровней основного состояния, находится под действием поля неодимового лазера с частотой ω_1 и волновым вектором k_1 , поля отраженного излучения неодимового лазера (ω_3, k_3) и поля излучения красителя ($\omega_2, k_2; \omega_4, k_4$). Предлагаемая векторная схема взаимодействия приведена на рис. 1. Молекулы красителя могут виртуально поглотить два кванта $h\omega_1$ и $h\omega_2$ и затем излучить кванты $h\omega_3$ и $h\omega_4$. Для такого параметрического преобразования существенным являются условия пространственно-временного синхронизма ($\omega_1 + \omega_2 = \omega_3 + \omega_4$, $k_1 + k_2 = k_3 + k_4$). В нашем случае $\omega_1 = \omega_3$, $\omega_2 = \omega_4$, а на волновые векторы накладываются условия $|k_2| = |k_4| = |k_1| \cos \alpha$.

Как было указано выше последнее условие выполняется для наблюдаемой линии. Поскольку частота $\omega_{2,4}$ является собственной частотой излучения красителя, взаимодействие носит резонансный характер.

Теоретическая модель четырехфотонного параметрического резонансного взаимодействия была рассмотрена в работе [2]. Полученное там

выражение для изменения инверсной заселенности ΔN со временем для нашего случая имеет вид:

$$\frac{d\Delta N}{dt} = -\frac{2\Delta N}{\hbar} \chi^{(1)''}(\omega_2) A^2(\omega_2) - \frac{\Delta N}{\hbar} \chi^{(3)''}(\omega_2) \sin^2 \phi A^2(\omega_2) A^2(\omega_1) - \frac{\Delta N - \Delta N_0}{T}$$

Здесь $A(\omega)$ — вещественные амплитуды поля частоты ω , $\chi^{(1)''}$ — мнимая часть компоненты тензора нелинейной восприимчивости второго ранга; $\chi^{(3)''}$ — мнимая часть компоненты тензора нелинейной восприимчивости четвертого ранга; $\sin^2 \phi$ — множитель, связанный с фазой взаимодействующих полей, T — время жизни возбужденного состояния.

Отсюда следует, что отношение членов, определяющих параметрическое взаимодействие и обычную генерацию, пропорционально интенсивности поля с частотой ω_1 . На опыте увеличение этого поля приводило к увеличению контраста параметрической линии по отношению к спектру обычной генерации.

Предлагаемая схема параметрического взаимодействия с участием резонансного излучения может быть применена для создания генераторов излучения с плавно перестраиваемой частотой практически в любой области спектра. Это осуществимо при использовании обширного класса генерирующих красителей и других соединений с широкими полосами излучения и различных возбуждающих лазеров¹⁾ Область перестройки частоты может быть расширена путем увеличения плотностей возбуждающего потока и изменения растворителя и концентрации растворов.

Авторы выражают глубокую благодарность А.С.Маркину за полезное обсуждение результатов.

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

Поступила в редакцию
31 марта 1969 г.

Литература

- [1] Л.Д.Деркачева, А.И.Крымова, В.И.Малышев, А.С.Маркин. Письма в ЖЭТФ, 7, 468, 1968.
[2] Б.П.Кирсанов, А.С.Селиваненко. Оптика и спектроскопия, 26, № 6, 1969.

¹⁾ Подавление одиночной спектральной линии и смещение ее в зависимости от угла наблюдалось нами также в цианиновых красителях при возбуждении излучением рубинового лазера.