

НЕЛИНЕЙНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В АТМОСФЕРЕ

УДК 535.36

В.А. Донченко, А.А. Землянов, Ал.А. Землянов, П.П. Кибиткин, Т.Н. Копылова

СПЕКТРЫ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ В ЖИДКИХ ЧАСТИЦАХ С КРАСИТЕЛЕМ ПРИ ИНТЕНСИВНОЙ ЛАЗЕРНОЙ НАКАЧКЕ

*Сибирский физико-технический институт им. В.Д. Кузнецова,
Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск*

Поступила в редакцию 22.09.98 г.

Принята к печати 11.11.98 г.

Обнаружено существенное различие в спектрах флуоресценции раствора родамина 6Ж в каплях миллиметрового и микронного размеров и в кювете. Различие состоит в смещении максимума полосы флуоресценции в коротковолновую область на 9 нм в капле по сравнению с максимумом флуоресценции того же раствора в кювете при плотности мощности лазерной накачки 310 МВт/см^2 и понижении относительной интенсивности длинноволнового крыла спектра флуоресценции. Аналогичный сдвиг максимума спектра флуоресценции был обнаружен и при возбуждении струи микронных капель. При облучении кюветы с красителем в том же диапазоне плотностей мощности накачки наблюдалось существенно меньшее (4 нм) смещение максимума спектра флуоресценции.

В последнее десятилетие активно изучаются возможности использования жидких сферических частиц в качестве новых миниатюрных устройств лазерной техники и своеобразных оптических приборов, пригодных для решения задач физики аэрозолей и спектроскопии. Интерес к изучению оптических явлений в таких частицах обусловлен тем, что они представляют собой высокодобротные сферические микрорезонаторы, что существенным образом определяет особый характер проявления в них нелинейных оптических эффектов [1, 2].

Способность сферической частицы концентрировать в своем объеме падающее электромагнитное излучение и наличие в ней собственных резонансных мод приводят к значительному локальному увеличению амплитуды оптического поля в приповерхностном слое сферы. При этом максимальные значения амплитуды поля достигаются вблизи освещенной и теневой поверхности сферы вдоль направления распространения падающей волны. В этих зонах при определенных соотношениях радиуса частицы и длины волны оптического излучения усиление внутреннего поля может достигать $10^2 \dots 10^6$ [3], что приводит к значительному снижению порогов ряда нелинейных оптических явлений, например ВКР, ВРМБ, оптического пробоя, оптической бистабильности и т.д. Это открывает дополнительные возможности изучения эффектов нелинейного взаимодействия излучения с веществом, которые проявляются при высоких интенсивностях лазерной накачки.

В [4] было впервые обнаружено, что при облучении растворов красителей сфокусированным лазерным излучением большой мощности наблюдается аномально высокий рост интенсивности флуоресценции красителя при увеличении интенсивности возбуждающего излучения. Спектр наблюдаемой в [4] флуоресценции красителя смещается в коротковолновую область (приблизительно на 3 нм при изменении плотности мощности лазерной накачки от 30 кВт/см^2 до 300 МВт/см^2). Такая флуоресценция названа в [4] некогерентной сверхлюминесценцией.

Аналогичные аномалии в поведении люминесценции наблюдались в парах атомов металлов [5]. В [6] делается предположение, что аномальное поведение оптических цен-

тров в поле лазерной накачки не связано со специфическими особенностями взаимодействия света со сложными молекулами. Несмотря на то, что в [5–7] предложены различные гипотезы для объяснения этого явления, отметим, что к настоящему времени явление некогерентной сверхлюминесценции не получило достаточно убедительного объяснения.

Поскольку эффект аномальной флуоресценции красителя наблюдается в достаточно сильных лазерных полях, представляет интерес изучение особенностей флуоресценции в сферических частицах, где, как отмечалось выше, существуют зоны повышенной плотности мощности внутреннего оптического поля. В настоящей статье описываются экспериментальные результаты исследования этих особенностей.

В экспериментах флуоресценция красителя возбуждалась импульсами лазера на АИГ с неодимом (длина волны второй гармоники излучения – 532 нм, длительность импульсов – 10 нс). Энергия импульсов регистрировалась измерителем средней мощности и энергии ИМО-2Н, длительность импульсов фотоэлементом ФЭК-19КМ и осциллографом С7-19. Необходимое ослабление лазерного излучения осуществлялось поляризационной призмой Глана и нейтральными светофильтрами. Плотность мощности сфокусированного лазерного излучения P варьировалась от 30 кВт/см^2 до 310 МВт/см^2 . Для получения спектральных характеристик флуоресценции красителя использовался монохроматор на базе спектрографа ДФС-452 со спектральной шириной аппаратной функции 2 \AA .

Сфокусированное лазерное излучение направлялось в сферическую каплю радиусом 1,5 мм с родамином 6Ж в дибутилфталате (ДБФ). Концентрация красителя составляла 10^{-4} моль/л. Капля помещалась в прямоугольную кварцевую кювету с дистиллированной водой. При этом мы воспользовались способом, предложенным в [8], где для получения жидких оптических резонаторов используются разделяющие поверхности несмешивающихся жидкостей.

На рис. 1 представлены спектры флуоресценции раствора родамина 6Ж в ДБФ (концентрация красителя 10^{-4} моль/л) в жидкой фазе (в кювете), полученные при плотностях мощности лазерной накачки 1,2 (кривая 1) и

310 МВт/см² (кривая 2). Спектры флуоресценции, полученные при плотностях мощности накачки 30 кВт/см² и 1,2 МВт/см², практически совпадают. Для предотвращения возникновения лазерного излучения в резонаторе, образованном стенками кюветы, раствор красителя помещался в кювету с непараллельными стенками. Флуоресценция регистрировалась в направлении, перпендикулярном направлению распространения возбуждающего лазерного пучка. Из рис. 1 видно, что при лазерной накачке 310 МВт/см² максимум спектра флуоресценции смещается в коротковолновую область. Наблюдаемое нами смещение спектра (4 нм) приблизительно совпадает с аналогичным смещением, полученным авторами [4] при тех же уровнях накачки.



Рис. 1

На рис. 2 приведены спектры флуоресценции сферической капли раствора родамина 6Ж той же концентрации. Видно, что величина смещения максимума спектра флуоресценции родамина 6Ж в ДБФ в капле составляет 9 нм при плотности мощности накачки 310 МВт/см² (кривая 1) относительно положения максимума спектра флуоресценции капли при накачке 1,2 МВт/см² (кривая 2). Максимум спектра флуоресценции при накачке 1,2 МВт/см² в капле, в свою очередь, сдвинут относительно максимума спектра того же раствора красителя в кювете (кривая 3) при такой же накачке. Видно также, что форма спектров флуоресценции в капле заметно сужается по сравнению с формой спектра в кювете.

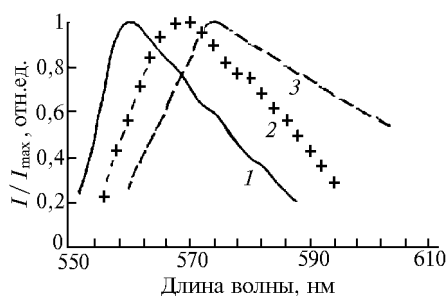


Рис. 2

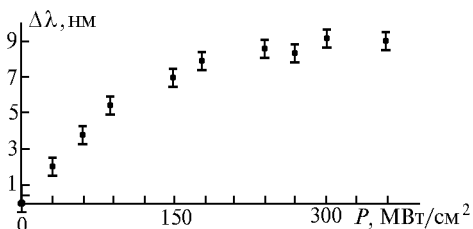


Рис. 3

На рис. 3 показана зависимость величины сдвига максимумов спектров излучения капли от плотности мощности накачки.

В таблице приведены величины спектрального сдвига максимумов спектров флуоресценции в капле при разных концентрациях родамина 6Ж в ДБФ. Как видно из таблицы, величина спектрального сдвига повышается при увеличении концентрации красителя. Это качественно согласуется с экспериментальными результатами, полученными в [9], где показано, что пороговая мощность эффекта некогерентной сверхлюминесценции растет с понижением концентрации красителя в кювете.

Концентрация красителя в капле, моль/л	Величина смещения максимума, нм
10^{-6}	0
10^{-5}	4
10^{-4}	9

В следующей серии экспериментов регистрировались спектры флуоресценции ансамбля сферических капель микронного размера раствора родамина 6Ж в этаноле. Аппаратура и методика измерений спектров флуоресценции были такие же, как в описанных выше опытах. Лазерное излучение фокусировалось в струю полидисперсного аэрозоля с красителем, получаемую с помощью аэрозольного генератора «Аэрозоль У-1». Радиусы капель в струе распределены в пределах от 1 до 35 мкм с максимумом кривой распределения частиц по размерам около 5 мкм. Концентрация красителя в каплях составляла $5 \cdot 10^{-4}$ моль/л.

На рис. 4 приведены спектры флуоресценции этанольного раствора родамина 6Ж в микронных каплях того же раствора в кювете при накачке 310 МВт/см². Как видно из рис. 4, спектральный максимум флуоресценции струи также смещается в коротковолновую область относительно максимума спектра в кювете.

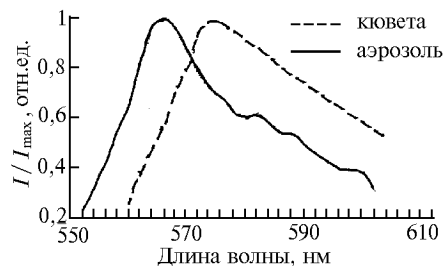


Рис. 4

В результате наших экспериментов обнаружено существенное различие спектров флуоресценции сферической капли миллиметрового размера раствора родамина 6Ж в ДБФ и того же раствора в кювете при интенсивной лазерной накачке. При изменении плотности мощности возбуждающего лазерного излучения от 1,2 до 310 МВт/см² в капле наблюдается сдвиг максимума спектра флуоресценции в коротковолновую сторону (~9 нм), который значительно больше сдвига спектрального максимума флуоресценции красителя в кювете (4 нм) при тех же накачках, а также понижение относительной интенсивности длинноволнового крыла спектра флуоресценции. Приблизительно такой же сдвиг (~3 нм) максимума спектра флуоресценции раствора родамина 6Ж в кювете при тех же уровнях накачки впервые обнаружен в [4]. Этот сдвиг характеризует явление, названное авторами эффектом «некогерентной сверхлюминесценции». Кроме того, нами зафиксирован аналогичный сдвиг спектрального максимума флуоресценции, кото-

рый наблюдается при облучении системы капель микронного размера с красителем.

Наблюдаемые в капле и микронном аэрозоле признаки некогерентной свертлюминесценции выражены гораздо сильнее по сравнению с аналогичными явлениями в растворах красителя в жидкой фазе, что связано, по-видимому, с существенным увеличением внутреннего оптического поля в каплях.

1. Гейнц Ю.Э., Землянов А.А., Чистякова Е.К. // Оптика атмосферы и океана. 1994. Т. 7. N 7. С. 914–928.
2. Гейнц Ю.Э., Землянов А.А. // Оптика атмосферы и океана. 1997. Т. 10. N 4–5. С. 500–515.

3. Chylek P., Pendleton Y.D., Pinnich R.G. // Appl. Opt. 1985. V. 24. P. 3940.
4. Макогоненко А.Г., Клочков В.П. // Оптика и спектроскопия. 1988. Т. 64. Вып. 2. С. 244–246.
5. Kulchakowic Z.P., Kohwas M. // Opt. Commun. 1994. V. 113. N. 1. P. 65–69.
6. Ермолаева Г.М., Грегг Е.Г. и др. // Оптика и спектроскопия. 1998. Т. 84. Вып. 3. С. 393–397.
7. Шилов В.Б., Смирнов В.А. и др. // Оптика и спектроскопия. 1996. Т. 81. Вып. 5. С. 767–772.
8. Стойлов Ю.Ю. Способ получения сложных жидких оптических поверхностей. Разрешение на выдачу патента N96119426 от 7.04.97.
9. Клочков В.П., Верховский Е.Б. // Оптика и спектроскопия. 1996. Т. 81. N 4. С. 613–615.

V.A. Donchenko, A.A. Zemlyanov, Al.A. Zemlyanov, P.P. Kibitkin, T.N. Kopylova. **Fluorescence Spectra in Dye Liquid Particles at Intense Laser Pumping.**

Significant difference has been found between fluorescence spectra in rhodamine 6G drops of millimeter and micron sizes and that in the cell. The difference is in 9 nm shift of the fluorescence band maximum to shortwave region comparative to the fluorescence maximum shift in the cell (4 nm) at power density of laser pumping 310 MW/cm² and a lowering of relative intensity in the fluorescence spectrum longwave wing. Similar shift of the fluorescence spectrum maximum (9 nm) was as well found at excitation of micron drops flow.