

Мощность доплеровского сигнала определяется квадратом  $i_s$  [1]:

$$i_s^2 = Q^2 R^2 \cos^2(\omega_D t - \omega_0 \tau),$$
$$Q^2 = \frac{Q_0}{L^2 [1 + (\pi r^2 / \lambda L)^2 (1 - L/F)^2]},$$

где  $Q_0 = \text{const}$ ,  $r$  — радиус апертуры приемопередающей системы (линзы или телескопа),  $F$  — расстояние, на котором фокусируется зондирующее излучение.

Для лидара на одностотном лазере  $Q^2$  определяет пространственное разрешение  $\Delta L = \frac{8}{\pi} \left(\frac{F}{D}\right)^2 \lambda$  (при  $\Delta L \ll F$ ) [1].

На рис. 3 представлена рассчитанная нормированная мощность доплеровского сигнала  $P_s$ , принимаемого с единицы длины трассы при  $F=100$  м,  $r=0,125$  м. В этом случае расстояние до измерительного объема определяется величиной  $F$ , а его длина  $\Delta L' \sim 1-10$  см (при выполнении условия  $\Delta L < 2l_0$ ) — длительностью пикосекундных импульсов. Улучшение пространственного разрешения на два порядка приводит к соответствующему уменьшению отношения сигнал/шум  $\kappa$  доплеровского лидара ( $\kappa \sim 1-10$  для коэффициента обратного рассеяния  $\beta = 10^{-5} \text{ м}^{-1} \cdot \text{ср}^{-1}$ , эффективности приемной системы  $\eta = 0,5$ , ширины спектра доплеровского сигнала  $\Delta \omega_D = 5$  МГц, определяемой распределением частиц аэрозоля в воздухе по скоростям,  $P = 10$  Вт [1]).

**4. Заключение.** Использование в моностатическом доплеровском лидаре Nd:YAG-лазера, работающего в режиме СМ, может дать возможность проводить практически точечные измерения скорости ветра на расстояниях порядка 100 м, что важно для изучения атмосферной турбулентности и решения других задач физики атмосферы [1]. При определенном радиусе приемопередающего телескопа  $r$  и фокусном расстоянии  $F$  можно проводить многоточечные измерения, которые могут оказаться полезными для диагностики воздушных потоков в аэродинамических трубах, для гидрофизических измерений и т. п. Оптическая часть и устройства обработки информации в подобных системах существенно не усложняются по сравнению с моностатическими доплеровскими лидарами на непрерывных лазерах.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Берсенева В. И., Приезжев А. В. Деп. ВИНТИ № 7988-В. М., 1985.  
[2] Ахманов С. А. и др. Введение в статистическую радиофизику и оптику. М., 1981. [3] Васильев А. В. и др. // Кр. сообщ. по физике ФИАН СССР. 1980. № 13. С. 13—19.

Поступила в редакцию  
04.03.86

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3, ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1987. Т. 28, № 1

УДК 535.34:535.375

#### О ПРИЧИНАХ ИЗМЕНЕНИЯ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДНЫХ РАСТВОРОВ КРАСИТЕЛЕЙ В ПРИСУТСТВИИ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

Б. Д. Рыжиков, Л. Ю. Горбунова

(кафедра общей физики для физического факультета)

Исследование влияния различных примесей на спектральные характеристики растворов органических красителей связано с необходимостью изучения фотоэнергетики красителей и создания на основе их растворов более совершенных активных сред [1]. В качестве искусственно вводимых примесей часто используются поверхностно-активные вещества (ПАВ), уменьшающие ассоциацию молекул красителей и понижающие порог генерации [2]. Однако присутствие в растворах даже малых концентраций ПАВ значительно усложняет спектральную картину, изменяя абсорбционные и люминесцентные свойства красителей [3]. Так, например, в работе [4] отмечалось существенное уменьшение поглощательной и генерационной способностей растворов родаминов при небольшом (до  $10^{-5}$  моль/л) содержании ионогенного ПАВ — додецилсульфата натрия (ДСН). Авторы работы [4] связывают наблюдаемое уменьшение поглощательной способности с выпадением осадка. В работе [5] для

аурамина-0 наблюдалось как уменьшение (ПАВ — DBSS), так и увеличение (ПАВ — тритон X-100) поглощательной способности раствора, что объяснялось образованием комплексов краситель—ПАВ, обладающих разной поглощательной способностью. В работе [6] для объяснения этого эффекта выдвигалось предположение об изменении структуры растворов катионных красителей при добавлении ПАВ. Неоднозначность взглядов на причины изменения поглощательной способности растворов красителей в присутствии небольших количеств ПАВ делает интересным дальнейшее изучение этого вопроса.

Целью настоящей работы является выяснение природы влияния небольших добавок ПАВ на оптические характеристики водных растворов красителей. В качестве объекта исследования были выбраны водные растворы широко используемых на практике ксантовых красителей марки ДКЭ и ПАВ разных типов. Регистрация спектров поглощения производилась на спектрофотометре *Specord UV—VIS*, а спектров флуоресценции — на флуориметре *Hitachi MPF-4*. Результаты измерений иллюстрируются

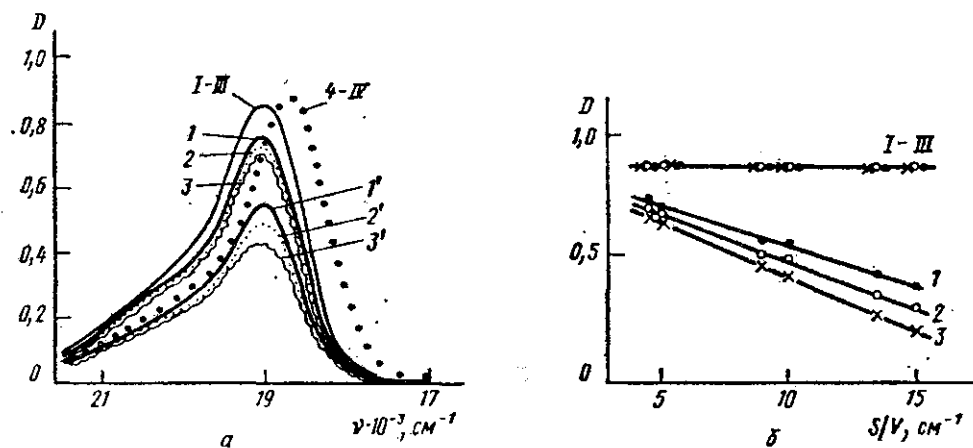


Рис. 1. Изменение оптической плотности водных растворов родамина 6Ж ( $c = 10^{-5}$  моль/л) в зависимости от содержания додецилсульфата натрия при  $S/V = 9$  ( $I-3'$ ) и  $4,5 \text{ cm}^{-1}$  ( $I-3$ ) (а) и в зависимости от  $S/V$  (б) в условиях некомпенсированной ( $I-3, 1'-3'$ , 4) и компенсированной адсорбции ( $I-III, IV$ ):  $c = 0$  ( $I, 1', I$ ),  $10^{-6}$  ( $2, 2', II$ ),  $10^{-5}$  ( $3, 3', III$ ) и  $10^{-2}$  моль/л ( $4, IV$ )

на примере водных растворов родамина 6Ж (Р6Ж) с добавками ДСН и тритона X-100. Концентрация Р6Ж была выбрана такой ( $10^{-5}$  моль/л), при которой процесс образования ассоциатов и разрушения их под действием ПАВ не является существенным. Концентрации ПАВ не превышали критической концентрации мицеллообразования (ККМ), что контролировалось по сдвигу полосы поглощения красителя, обусловленному изменением сольватной оболочки молекул красителя при их включении в мицеллы [7].

На рис. 1, а представлены спектры поглощения свежеприготовленных растворов Р6Ж при разном содержании ДСН. В области концентраций ДСН от 0 до  $10^{-6}$  моль/л действительно наблюдается значительное уменьшение поглощения красителя с увеличением концентрации ПАВ (кривые  $I-3$ ). Отсутствие изменений формы спектра указывает на уменьшение концентрации красителя в растворе. Однако в отличие от работы [4] выпадения осадка не наблюдалось. Поэтому нами была рассмотрена другая возможная причина уменьшения концентрации раствора, связанная с изменением величины адсорбции молекул растворенного вещества на границе раствора под влиянием ПАВ. При наличии адсорбции молекул растворенного вещества устанавливающаяся в объеме эффективная концентрация  $c_{эфф}$  оказывается зависящей от величины отношения площади поверхности раствора  $S$  к его объему  $V$ :  $c_{эфф} = c_0 - \Gamma S/V$ , где  $c_0$  — исходная концентрация раствора,  $\Gamma$  — величина адсорбции, равная избыточной концентрации растворенного вещества в поверхностном слое [8]. Тогда должна наблюдаться зависимость поглощательной способности  $D \sim c_{эфф}$  от величины  $S/V$  кюветы. Рис. 1, б иллюстрирует изменение спектров при увеличении отношения  $S/V$  в 2 раза (кривые  $1'-3'$ ). При вариации значений  $S/V$  наблюдаются линейные зависимости  $D = D(S/V)$  для каждого раствора, при этом наклоны прямых меняются, отражая изменение величины адсорбции красителя в растворе в зависимости от концентрации ПАВ в условиях некомпенсированной адсорбции (рис. 1, б).

Аналогичные измерения были проведены при использовании в качестве добавок ПАВ другого типа — неионогенного. На рис. 2, а представлены спектры водных растворов Р6Ж при разных концентрациях тритона X-100 и при разных значениях  $S/V$ . И в этом случае прослеживается в условиях некомпенсированной адсорбции зависимость поглощательной способности  $D$  раствора как от содержания ПАВ в растворе, так и от отношения  $S/V$  кювет (рис. 2, б). Однако в отличие от предыдущего случая введение тритона X-100 приводит к увеличению поглощательной способности растворов, что объясняется вытеснением молекул Р6Ж из приповерхностного слоя молекулами ПАВ.

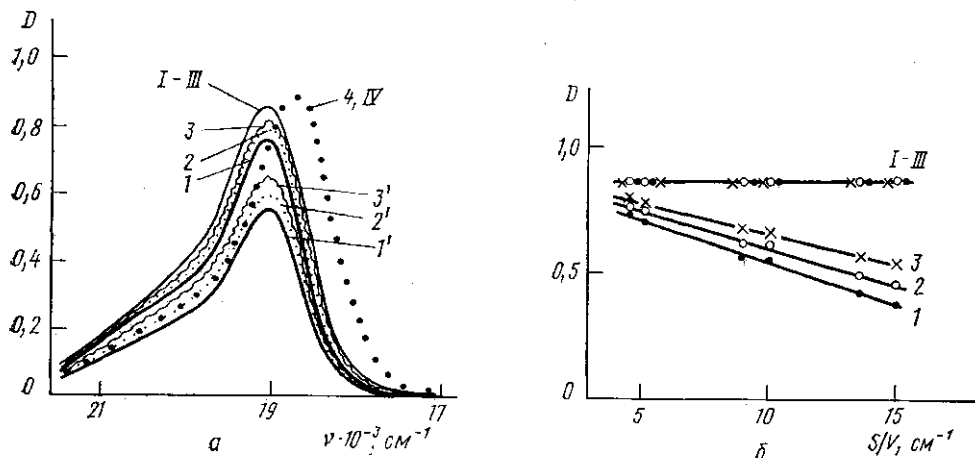


Рис. 2. Изменение оптической плотности водных растворов родамина 6Ж ( $c = 10^{-5}$  моль/л) в зависимости от содержания тритона X-100 при  $S/V=9$  ( $I'-3'$ ) и  $4,5 \text{ см}^{-1}$  ( $I-3$ ) (а) и в зависимости от  $S/V$  (б) в условиях некомпенсированной ( $I-3$ ,  $I'-3'$ , 4) и компенсированной адсорбции ( $I-III$ ,  $IV$ ):  $c=0$  ( $I, I', I$ );  $0,01\%$  ( $2, 2', II$ ),  $0,05\%$  ( $3, 3', III$ ) и  $1\%$  ( $4, IV$ )

Для компенсации влияния адсорбции при измерениях спектров поглощения был использован метод, предложенный в работе [9]. Полученные результаты представлены на рис. 1 и 2 графиками  $I-III$ . Совпадение их подтверждает зависимость величины адсорбции от содержания ПАВ в растворе и показывает, что наблюдаемые ранее изменения оптической плотности растворов при добавлении незначительных количеств ПАВ обусловлены потерей концентрации раствора за счет адсорбции красителя на границе раствора.

При больших концентрациях ПАВ, превышающих ККМ, молекулы красителя полностью сольватированы молекулами ПАВ [7] и, следовательно, не могут адсорбироваться в поверхностном слое раствора. В этом случае наблюдается совпадение спектров, измеренных как по стандартной методике, так и по методу, описанному в работе [9] (кривые 4 и  $IV$  на рис. 1, а и 2, а).

Следует отметить, что люминесцентные и абсорбционные характеристики растворов под воздействием ПАВ меняются симбатно. Так, на рис. 3 приведены спектры люминесценции водного раствора Р6Ж при различных концентрациях тритона X-100, полученные по стандартной методике. С увеличением содержания ПАВ интенсивность люминесценции меняется значительно сильнее, чем в

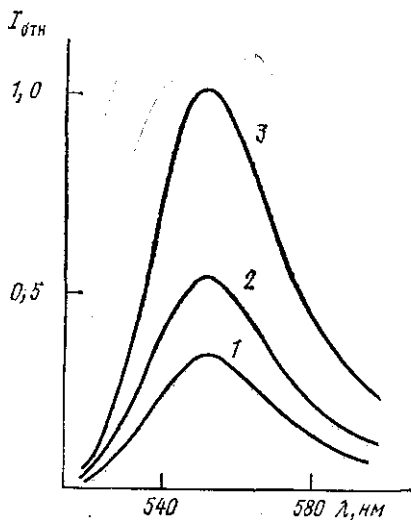


Рис. 3. Зависимость спектров люминесценции водных растворов родамина 6Ж ( $c = 10^{-5}$  моль/л) от концентрации тритона X-100:  $c=0$  (1),  $0,01\%$  (2) и  $0,05\%$  (3)

случае поглощения. Это объясняется тем, что для исключения влияния реадсорбции при исследовании спектров люминесценции применяются более тонкие кюветы с оптической плотностью раствора, не превышающей 0,02. Поэтому для одинаковых концентраций красителей отношение  $S/V$  кювет, используемых для измерения спектров люминесценции, как правило, на порядок выше, чем для спектров поглощения, что и обуславливает более сильное влияние адсорбции при люминесцентных измерениях.

Таким образом, деформации спектров поглощения и люминесценции растворов красителей, наблюдаемые при содержании ПАВ меньше ККМ и заключающиеся в изменении (иногда значительном — до 50%, см. рис. 1) интенсивности спектров без искажения их формы, объясняются изменениями условий адсорбции красителей в растворе под воздействием ПАВ. Так, например, присутствие тригона X-100 уменьшает адсорбцию Р6Ж, вытесняя его из поверхностного слоя в раствор, а ДСН увеличивает адсорбцию Р6Ж, связывая его молекулы в поверхностном слое. Поэтому в связи с большими погрешностями, вносимыми адсорбцией в результате спектральных измерений жидких растворов, необходимо учитывать влияние адсорбции, особенно в присутствии примесей, приводящих к существенному изменению ее величины.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Копылова Т. Н., Данилова В. И., Жигалова Е. Б., Привалова Н. Ю. // Изв. вузов. Физика. 1980. 23, № 10. С. 112—114. [2] Абрамсон А. А. Поверхностно-активные вещества. Л., 1981. [3] Савостьянова М. В. // Успехи химии. 1963. 32, № 10. С. 1233—1269. [4] Аристов А. В. и др. // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1978. 42, № 2. С. 425—429. [5] Vuas S., Karoor R. C. // Polymer Photochem. 1984. 4. P. 473—481. [6] Морозова Ю. Н., Жигалова Е. Б. // Журн. физ. химии. 1982. 56, № 10. С. 2491—2494. [7] Баранова Н. Б., Левшин Л. В., Рева М. Г., Рыжиков Б. Д. // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 3, Физ. Астрон. 1982. 23, № 5. С. 8—12. [8] Горбунова Л. Ю., Рыжиков Б. Д., Сенаторова Н. Р. // Там же, 1985. 26, № 1. С. 8—11. [9] Рыжиков Б. Д., Сенаторова Н. Р., Горбунова Л. Ю. // Журн. прикл. спектр. 1985. 43, № 2. С. 230—234.

Поступила в редакцию  
06.03.86  
После переработки  
17.09.86

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3, ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1987. Т. 28, № 1

## АКУСТИКА

УДК 534.28:548.54

### АКУСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛА $\text{Bi}_2\text{WO}_6$

А. И. Кондратов, С. В. Павлов, О. Ю. Сердобольская

(кафедра акустики)

Новый кристалл  $\text{Bi}_2\text{WO}_6$ , физические и оптические характеристики которого исследованы в работах [1—4], является хорошим пьезоэлектриком и может представлять интерес для акустоэлектроники. В настоящей работе изучены упругие свойства этого кристалла.

Сложность измерения скоростей звуковых волн связана с тем, что кристалл  $\text{Bi}_2\text{WO}_6$  растет в виде тонких пластинок толщиной до 1 мм вдоль оси [010]. Поэтому вдоль оси [010] фазовые скорости объемных акустических волн (ОАВ) измерялись импульсным методом с фиксированной фазой [5] на частоте 12 МГц и импедансным методом на бразжение [6] на частоте 120 МГц. Оба метода дают близкие значения скоростей:  $v_{\text{пр}} = v_{22} = (1,8 \pm 0,4) \cdot 10^3$  м/с,  $v_{\text{од}} = v_{23} = (0,7 \pm 0,15) \cdot 10^3$  м/с (импульсный метод),  $v_{\text{пр}} = v_{22} = (1,4 \pm 0,1) \cdot 10^3$  м/с (импедансный метод). Скорость сдвиговых волн в направлении [010], величины пьезомодуля  $d_{24}$  и коэффициента электромеханической связи измерялись, кроме того, методом резонанса и антирезонанса на частотах 0,2—1,5 МГц. Были получены следующие значения:  $v_{\text{од}} = v_{23} = (0,85 \pm 0,03) \cdot 10^3$  м/с,  $d_{24} = 70 \cdot 10^{-8}$  ед. СГСЕ,  $k^2 = 0,008$ . Точность измерений  $d_{24}$  и  $k^2$  составляла 10—15%. Значение пьезомодуля  $d_{31}$  по порядку величины совпадает со значениями  $d_{33}$ ,  $d_{32}$  и  $d_{31}$ , измеренными в  $\text{Bi}_2\text{WO}_6$  ранее методом динамической компенсации [1].

Средние значения модулей упругости можно принять равными:  $c_{22} = 3,04 \cdot 10^{10}$  Н/м,  $c_{66} = 4,59 \cdot 10^9$  Н/м. Следует отметить малую величину модулей упругости в направле-