

## ИССЛЕДОВАНИЕ СИНЕЙ И УЛЬТРАФИОЛЕТОВОЙ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ РОДАМИНА 6Ж

А. В. Аристов и В. С. Шевандин

Исследована степень поляризации коротковолновой люминесценции (КЛ) этанольного раствора родамина 6Ж (Р6Ж) в области 300–450 нм. КЛ возбуждалась при поглощении видимого ( $\lambda=530$  нм) или ИК ( $\lambda=1060$  нм) излучений в первом возбужденном состоянии ( $S_1$ ) молекулы Р6Ж. Описана методика, позволяющая определить относительное расположение дипольных моментов переходов из состояния  $S_1$  в вышележащие состояния ( $S_x$ ) и из состояния  $S_1$  в основное состояние ( $S_0$ ) молекулы. Определено значение квантового выхода ( $\eta$ ) КЛ, которое независимо от длины волны возбуждающего света находится в пределах  $(2 \pm 1) \cdot 10^{-5}$ . На основании приведенных экспериментальных данных сделан вывод о том, что КЛ представляет собой излучательную дезактивацию состояний  $S_x$  молекулы Р6Ж. Возможный вклад в КЛ системы триплетных уровней, фотопродуктов или примеси незначителен. Предложена схема энергетических состояний, в рамках которой объяснена совокупность полученных экспериментальных сведений. Показано, что каждая из полос КЛ представлена переходами по крайней мере с двух электронных уровней, что существенно затрудняет оценку времени жизни состояний  $S_x$ , если исходить из значений  $\eta$  и интегралы излучения по соответствующим полосам поглощения из состояния  $S_0$ .

В работах [1, 2] сообщалось о свечении растворов некоторых роданинов в синей и ультрафиолетовой областях спектра. Это свечение было интерпретировано авторами как люминесценция при переходе из высших синглетных состояний ( $S_x$ ) в основное состояние ( $S_0$ ) молекул красителей. Заселение состояний  $S_x$  осуществлялось в цитируемых работах в результате перехода из первого возбужденного состояния ( $S_1$ ) молекулы с поглощением видимого [1] или инфракрасного [2] кванта. Вместе с тем имеются сведения, что за коротковолновую люминесценцию (КЛ) растворов органичюлюминофоров могут быть ответственны как триплетные молекулы [3], так и фотопродукты [4, 5]. Поскольку время жизни состояний  $S_x$  по оценкам, приведенным в [1], составляет  $\sim 10^{-12}$  с, следует ожидать, что КЛ будет иметь выраженную поляризацию даже в жидких растворах. Изучение поляризации этого свечения позволяет получить сведения о взаимном расположении дипольных моментов переходов  $S_x \leftrightarrow S_0$ ,  $S_1 \rightarrow S_x$  и  $S_1 \leftrightarrow S_0$ , на основании которых могут быть сделаны выводы о природе КЛ в каждом отдельном случае. В нашей работе приведены сведения о поляризации КЛ в пределах ее спектра при ступенчатом возбуждении раствора родамина 6Ж (Р6Ж) линейно поляризованным светом с  $\lambda=530$  и 1060 нм. Определены также ориентации дипольных моментов переходов, ответственных за поглощение света из состояния  $S_1$  молекулы Р6Ж на длинах волн 530 и 1060 нм. Спектральные и поляризационные исследования дополнены измерениями квантовых выходов КЛ.

Измерения степени поляризации КЛ производились на установке, схема которой приведена на рис. 1. В кювету К заливался этанольный раствор Р6Ж концентрации  $1.5 \cdot 10^{16}$  см $^{-3}$ . Молекулы красителя возбуждались в состоянии  $S_1$  моноимпульсом линейно поляризованного излучения с  $\lambda=530$  нм через светоделительное зеркало З, сменные цветные (ЦФ) и нейтральные (НФ) фильтры и фокусирующую линзу  $L_1$ . Для возбуждения КЛ ИК квантами к излучению с  $\lambda=530$  нм добавлялся моноимпульс



линейно поляризованного излучения с  $\lambda=1060$  нм. Прошедшие через кювету световые потоки измерялись с помощью калориметра ИМО-2. Контроль интенсивности излучения осуществлялся фотоэлементом (ФЭ) или калориметром (ИМО-2). Эти измерения проводились для определения оптической плотности возбужденного раствора на  $\lambda=530$  и 1060 нм. Люминесценция раствора через линзы  $L_2$  и  $L_3$  направлялась на монохроматор ДМР-4, за выходной щелью которого размещался фотоумножитель ФЭУ-77. Для определения степени поляризации люминесценции между линзами  $L_2$  и  $L_3$  вводилась призма Глана. Сигналы наносекундной длительности с ФЭ и ФЭУ поступали на преобразователи, с выходов которых снимались импульсы микросекундной длительности, что облегчало измерение сигналов на осциллографе. Амплитуды этих сигналов были пропорциональны интенсивностям световых потоков, поступающих на фотоэлементы.

Квантовый выход  $\eta$  КЛ определялся методом сравнения с эталоном, в качестве которого использовался раствор пара-терфенила в циклогек-

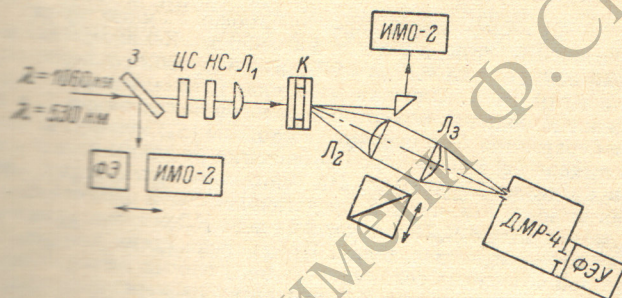


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

саве, возбужденный по указанной схеме моноимпульсом с  $\lambda=265$  нм. Спектрально-люминесцентные характеристики раствора пара-терфенила были взяты из работы [6].

Интенсивность ( $I_{530}$ ) излучения с  $\lambda=530$  нм изменялась в пределах от  $2 \cdot 10^{25}$  до  $1 \cdot 10^{26}$   $\text{л} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ . В этом диапазоне заселенность состояния  $S_1$  оставалась практически неизменной и составляла  $\sim 90\%$  [7] от общей концентрации молекул, а люминесценция (соответствующая переходу  $S_1 \rightarrow S_0$ ) была практически деполаризована. Интенсивность КЛ при этом была пропорциональна величине  $I_{530}$ . Дополнительное возбуждение раствора излучением с  $\lambda=1060$  нм в диапазоне интенсивности ( $I_{1060}$ ) от  $2 \cdot 10^{26}$  до  $1 \cdot 10^{27}$   $\text{л} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$  производилось при фиксированном значении  $I_{530} \sim 10^{25}$   $\text{л} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ . В этих условиях интенсивность КЛ линейно зависела от величины  $I_{1060}$  и не менее чем на порядок превышала интенсивность КЛ, возбуждаемой излучением с  $\lambda=530$  нм.

Результаты измерений степени поляризации в пределах спектра КЛ (кривые  $I'$  и  $P'$ ) и спектры ее квантовой интенсивности приведены на рис. 2. Кривые 1 и 2 относятся к КЛ, возникающей в результате действия на возбужденный раствор красителя световых потоков с  $\lambda=1060$  и 530 нм соответственно. Описываемый кривой 1 спектр представлен широкой порочкой с максимумом в области  $\lambda=375$  нм. Этот результат находится в хорошем соответствии с работами [1, 2]. Переход к возбуждению излучением с  $\lambda=530$  нм сопровождается заметным расширением спектра КЛ (кривая 2) преимущественно в длинноволновом направлении, а также возвращением спектра к максимуму в области  $\lambda=310$  нм. Различия спектров и в спектральном ходе поляризации люминесценции (кривые  $I'$  и  $P'$ ). Обращает на себя внимание теоретически [8] предельная степень поляризации  $P=-1/3$  в области 300–310 нм кривой 2'. Такое значение  $P$  свидетельствует как о высокой анизотропии ортогонально расположенных осцилляторов, соответствующих испусканию и поглощению, так



и о том, что время жизни светящихся центров значительно короче времени вращательной релаксации этих центров в растворителе. Непостоянство значения степени поляризации КЛ в пределах ее полос указывает на сложный состав спектра люминесценции, представленной, по-видимому, излучательной дезактивацией нескольких электронных состояний (нескольких типов возбужденных центров).

Несмотря на указанные различия, возбуждаемые потоками с  $\lambda=530$  и 1060 нм, свечения имеют определенное сходство, проявляющееся в практическом совпадении как максимумов квантовой интенсивности в районе  $\lambda=380$  нм, так и квантовых выходов люминесценции. Значения  $\eta$ , по нашим измерениям, составляют  $(2 \pm 1) \cdot 10^{-5}$ , что согласуется с работой [1]. Указанное сходство люминесцентных характеристик позволяет сделать

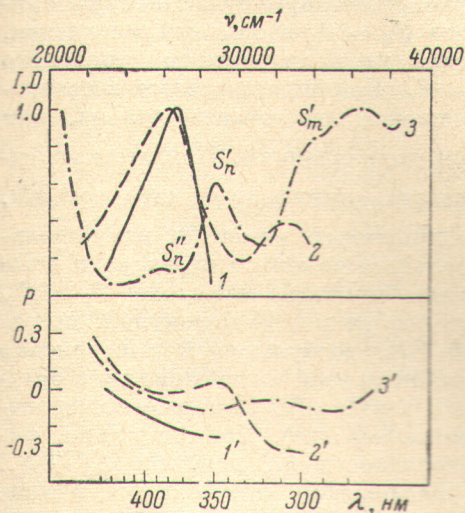


Рис. 2. Квантовые спектры коротковолновой люминесценции (1 и 2) раствора Р6Ж и степени ее поляризации  $P$  (1' и 2').

1 и 1' — при одновременном возбуждении потоками с  $\lambda=530$  и 1060 нм; 2 и 2' — при возбуждении потоком с  $\lambda=530$  нм; 3 — спектр поглощения из основного состояния; 3' — поляризационный спектр из работы [9]. Спектры 1, 2, 3 приведены в относительных единицах.

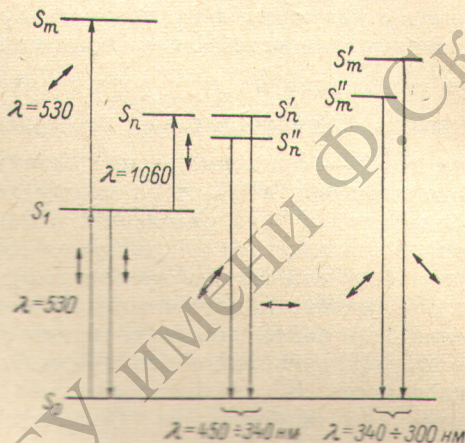


Рис. 3. Схемы электронных состояний молекулы Р6Ж.

Оптические переходы показаны вертикальными стрелками. Условные направления дипольных моментов переходов представлены в виде  $\vec{\mu}$ .

вывод о том, что при разных способах возбуждения КЛ, представленная в области 350 ÷ 450 нм, является, по-видимому, излучательной дезактивацией одних и тех же возбужденных центров.

В спектрах, описываемых кривыми 1' и 3', в области 350 ÷ 450 нм проявляется общая тенденция: при смещении в направлении увеличения  $\lambda$  степень поляризации плавно возрастает. Такое соответствие форм кривых 1' и 3' дает основание для предположения о том, что КЛ в спектральном участке 350 ÷ 450 нм происходит в результате излучательной дезактивации тех электронных состояний молекулы Р6Ж, в которые она переходит из состояния  $S_0$  при поглощении света в указанном спектральном интервале. Однако поскольку кривая 1' характеризует относительное расположение дипольных моментов переходов  $S_x \rightarrow S_0$  и  $S_1 \rightarrow S_x$ , а кривая 3' — переходов  $S_0 \rightarrow S_x$  и  $S_1 \rightarrow S_0$ , то для более достоверной интерпретации природы КЛ необходимо знать, как ориентирован дипольный момент перехода  $S_1 \rightarrow S_x$  относительно дипольного момента перехода  $S_1 \rightarrow S_0$ . Эти же сведения необходимы и для интерпретации изменения степени поляризации в пределах спектра КЛ (кривая 2') при ее ступенчатом возбуждении квантами с  $\lambda=530$  нм.

Для определения взаимного расположения дипольных моментов переходов  $S_1 \rightarrow S_0$  и  $S_1 \rightarrow S_x$  нами была предложена и осуществлена следу-



щая методика. Кювета с исследуемым раствором Р6Ж концентрации  $5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$  помещалась в образованный плоскими зеркалами резонатор и стимулированное излучение в растворе возбуждалось по поперечной схеме моноимпульсом с  $\lambda = 530 \text{ нм}$ . Возбуждающее излучение было линейно поляризовано вдоль оси резонатора, а электрический вектор потока стимулированного излучения, естественно, был перпендикулярен оси резонатора. Стимулированное излучение в данном случае служило средством повышения анизотропии ансамбля возбужденных молекул в результате селективного по ориентации дипольных моментов тушения люминесценции [10]. Мощный поток этого излучения сокращает время жизни молекул в состоянии  $S_1$  [11] до величины, значительно меньшей времени вращательной релаксации. В таких условиях ансамбль возбужденных молекул даже в жидких растворах приобретает преимущественную ориентацию дипольных моментов переходов  $S_0 \leftrightarrow S_1$  вдоль оси резонатора.

Оценка степени анизотропии молекул по направлениям дипольного момента излучательного перехода  $S_1 \rightarrow S_0$  обычно заключается в сравнении интенсивностей люминесценции, прошедшей через поляроид, при его ориентации по двум ортогональным направлениям. При этом интенсивность люминесценции пропорциональна интегралу  $\int m(\vartheta) \cos^2 \vartheta d\vartheta$ ,

где  $m(\vartheta)$  — функция распределения дипольных моментов излучательного перехода, а  $\vartheta$  — угол между дипольным моментом перехода и осью поляроида. О распределении дипольных моментов перехода  $S_1 \rightarrow S_x$ , сопровождающегося поглощением света возбужденной молекулой, можно судить по отношению интенсивностей КЛ, возбуждаемой попеременно двумя линейно поляризованными потоками равной интенсивности с ортогональным направлением электрического вектора (Е) (при этом интенсивность КЛ измеряется без применения поляроида). Действительно, интенсивность КЛ пропорциональна вероятности  $b_{1x}$  перехода  $S_1 \rightarrow S_x$ , которая в приближении дипольного поглощения записывается в виде  $b_{1x} \sim \int n(\vartheta) \cos^2 \vartheta d\vartheta$ , где  $n(\vartheta)$  — функция распределения дипольных моментов перехода  $S_1 \rightarrow S_x$ , а  $\vartheta$  — угол между дипольным моментом и направлением вектора Е.

Заметим, что в случае сравнения интенсивностей обычной люминесценции при наблюдении ее через поляроид и в случае сравнения интенсивностей КЛ при ее возбуждении двумя, по-разному поляризованными, потоками излучения мы имеем дело с величинами, пропорциональными интегралам одного типа. Следовательно, два способа получения информации о степени анизотропии в распределении дипольных моментов переходов в возбужденной молекуле, приведенные выше, эквивалентны.

В выбранных нами условиях возбуждения и генерации была измерена степень поляризации обычной люминесценции исследуемого раствора в области  $\lambda = 590 \text{ нм}$ . Оказалось, что при ориентации оси поляроида вдоль оси резонатора интенсивность прошедшей через него люминесценции  $I_x^{\parallel}$  в 3 раза превышала интенсивность люминесценции  $I_x^{\perp}$ , наблюдаемой через поляроид, ось которого была перпендикулярна оси резонатора. Таким образом, степень поляризации обычной люминесценции составила  $+1/2$ .

Ансамбль возбужденных молекул с таким значением анизотропии в распределении дипольных моментов перехода  $S_1 \rightarrow S_0$  возбуждался дополнительно излучением с  $\lambda = 1060 \text{ нм}$ ; при этом значение  $I_x^{\parallel}/I_x^{\perp}$  оставалось равным 3. В этих условиях интенсивность ( $I_{\text{кл}}^{\parallel}$ ) КЛ, вызванной световым потоком, поляризованным вдоль оси резонатора, в 3 раза превышала интенсивность ( $I_{\text{кл}}^{\perp}$ ) КЛ, вызванной потоком, поляризованным ортогонально оси резонатора. Измерения интенсивности КЛ производились на  $\lambda = 380 \text{ нм}$ . Поскольку соотношение величин  $I_x^{\parallel}/I_x^{\perp}$  и  $I_{\text{кл}}^{\parallel}/I_{\text{кл}}^{\perp}$  оказалось одинаковым, а используемые нами оценки степени анизотропии в распределении дипольных моментов переходов эквивалентны, то из равенства  $I_x^{\parallel}/I_x^{\perp} = I_{\text{кл}}^{\parallel}/I_{\text{кл}}^{\perp}$  следует, что КЛ, возбуждаемая потоком с  $\lambda = 1060 \text{ нм}$ , про-



исходит преимущественно в результате поглощения этого потока молекулами Р6Ж в состоянии  $S_1$  и направления дипольных моментов переходов  $S_1 \rightarrow S_0$  и  $S_1 \rightarrow S_x$  совпадают.

Поскольку дипольные моменты излучательных переходов, представленных в КЛ, ориентированы относительно дипольного момента перехода  $S_1 \rightarrow S_x$ , (кривая 1' на рис. 2) примерно так же, как и дипольные моменты переходов  $S_0 \rightarrow S_x$  в области 410÷340 нм относительно дипольного момента перехода  $S_1 \rightarrow S_0$  (кривая 3' на рис. 2), а дипольные моменты переходов  $S_1 \rightarrow S_x$  и  $S_1 \rightarrow S_0$  совпадают по направлению, то остается сделать вывод, что КЛ обусловлена переходами  $S_x \rightarrow S_0$ . Таким образом, и за поглощение потока с  $\lambda=1060$  нм, и за вызываемую этим потоком КЛ ответственна система синглетных состояний молекулы Р6Ж. Смещение по шкале частот кривой 1' относительно кривой 3' (рис. 2) происходит, по-видимому, вследствие стоксового сдвига.

При добавлении к излучению на  $\lambda=530$  нм, поляризованному вдоль оси резонатора, излучения такой же интенсивности и на такой же длине волны, но поляризованного перпендикулярно оси резонатора, соотношение  $I_{\parallel}^{\parallel}/I_{\perp}^{\perp}$  принимало значение 2.5. В этих условиях интенсивности  $I_{\text{кл}}^{\parallel}$  и  $I_{\text{кл}}^{\perp}$ , измеренные на  $\lambda=380$  нм, оказались равными. Независимость интенсивности КЛ от ориентации электрического вектора светового потока с  $\lambda=530$  нм можно было бы отнести за счет того, что КЛ в этом случае происходит в результате поглощения светового потока триплетными молекулами, продуктами фотораспада или примесью. Однако, как указывалось выше, возбуждаемая потоками с разными значениями  $\lambda$  (530 и 1060 нм) КЛ в спектральной области 350÷450 нм, по-видимому, представляет собой свечение одних и тех же центров. Поэтому неравенство соотношений  $I_{\parallel}^{\parallel}/I_{\perp}^{\perp}$  и  $I_{\text{кл}}^{\parallel}/I_{\text{кл}}^{\perp}$  означает, что дипольные моменты переходов  $S_1 \rightarrow S_0$  с  $\lambda=590$  нм и  $S_1 \rightarrow S_x$  с  $\lambda=530$  нм развернуты друг относительно друга на некоторый угол  $\varphi$ .

Оценить значение  $\varphi$  можно из следующих простых соображений. Если  $\varphi=0$ , то соблюдается равенство  $I_{\parallel}^{\parallel}/I_{\perp}^{\perp}=I_{\text{кл}}^{\parallel}/I_{\text{кл}}^{\perp}$ . С другой стороны, при  $\varphi=90^\circ$  значение  $I_{\text{кл}}^{\perp}$  заметно превышает бы значение  $I_{\text{кл}}^{\parallel}$ . Это утверждение построено на аналогии со случаем возбуждения молекул линейно поляризованным светом в жесткой среде [8], когда при совпадении дипольных моментов, соответствующих поглощению и излучению степень поляризации люминесценции  $P=-1/2$  (так же, как и в нашем случае), а при их ортогональном расположении  $P=-1/3$ . Следовательно, значение  $\varphi$  занимает промежуточное положение между 0 и  $90^\circ$ , и в дальнейшем мы будем условно изображать дипольные моменты перехода  $S_1 \rightarrow S_0$  на  $\lambda=590$  нм и  $S_1 \rightarrow S_x$  на  $\lambda=530$  нм расположенными под углом  $45^\circ$ .

Из совокупности представленных в этом разделе сведений следует, что дипольные моменты переходов  $S_1 \rightarrow S_x$  на  $\lambda=1060$  нм и  $S_1 \rightarrow S_x$  на  $\lambda=530$  нм составляют между собой некоторый угол. Наличие этого угла объясняет приблизительную эквидистантность кривых 1' и 2' на рис. 2 в спектральной области 450÷390 нм. Различие в ходе кривых в области 390÷350 нм можно отнести за счет излучательного перехода из состояния, активно заселяемого лишь при поглощении возбужденной молекулой кванта с  $\lambda=530$  нм.

Приведенные результаты исследования КЛ могут быть интерпретированы в рамках следующей схемы электронных состояний молекулы Р6Ж (рис. 3). Под действием светового потока с  $\lambda=530$  нм молекулы Р6Ж переходят в состояние  $S_1$ , а затем, поглотив еще один квант с  $\lambda=530$  или 1060 нм, оказываются в вышележащих синглетных состояниях, соответственно  $S_m$  и  $S_n$ . В процессе внутренней конверсии молекулы проходят состояния  $S'_m$ ,  $S''_m$ ,  $S'_n$ ,  $S''_n$ , излучательная дезактивация которых сопровождается коротковолновой люминесценцией. Промежуточные уровни  $S_m$  и  $S_n$  введены для того, чтобы в общем случае учесть возможную неидентичность электронных состояний, в которые переходит молекула в результате двухступенчатого и прямого поглощения света [12].



Люминесценция в области  $350\div 450$  нм, по-видимому, представляет излучательную дезактивацию по меньшей мере двух электронных состояний  $S'_n$  и  $S''_n$ , которые проявляются и в спектре поглощения из основного состояния (рис. 2). Учет этих состояний позволяет объяснить непостоянство степени поляризации КЛ в пределах ее спектра, а также отмеченную ранее [1] аномально большую полуширину полосы КЛ в области  $350\div 450$  нм. Вклад каждого из состояний  $S'_n$  и  $S''_n$  в КЛ определяется как вероятностью излучательного перехода, так и его заселенностью, которая в свою очередь определяется соотношением констант безызлучательных переходов. С этой точки зрения устраняется противоречие между тем, что интенсивности переходов  $S_0 \rightarrow S'_n$  и  $S_0 \rightarrow S''_n$  в спектре поглощения (рис. 2) различаются сильно, а в спектре КЛ состояния  $S'_n$  и  $S''_n$  дают излучение примерно равной интенсивности. Некоторое различие в спектрах квантовой интенсивности КЛ, обусловленное различием поглощения из состояния  $S_1$  квантов ( $\lambda=530$  или  $1060$  нм) также может быть объяснено увеличением заселенности состояния  $S''_n$  при накачке излучением с  $\lambda=530$  нм. Допустима возможность влияния на деформацию спектров КЛ в длинноволновой области «горячей» люминесценции с высших возбужденных уровней состояния  $S_1$ .

Полоса КЛ с максимумом в области  $310$  нм представлена, вероятно, тем же, как и полоса с максимумом  $\lambda=380$  нм, излучательными переходами из нескольких состояний, о чем свидетельствует существенное изменение степени поляризации КЛ в области  $300\div 330$  нм. Одно из таких состояний, а именно  $S''_n$ , четко проявляется в спектре поглощения (рис. 2) минимума Р6Ж из состояния  $S_0$ .

Как видно из рис. 2, максимумы КЛ смещены в длинноволновую область относительно соответствующих им максимумов полос поглощения на величину  $\sim 2000$  см $^{-1}$ , обусловленную стоковым сдвигом.

Определение времени жизни  $\tau_{sx}$  высших синглетных состояний из соотношения  $\tau_{sx} = \tau_{rad} / \eta$ , где  $\tau_{rad}$  — радиационное время жизни данного состояния, связано с рядом трудностей. Во-первых, вычисление  $\tau_{rad}$  с помощью спектров поглощения может быть достаточно корректно выполнено лишь для состояния  $S'_n$ , переход в которое представлен в спектре поглощения хорошо выраженной полосой. Во-вторых, невозможно оценить квантовый выход КЛ с каждого из высоковозбужденных состояний, так как весьма трудно определить их вклад в спектр КЛ. Следовательно, оценка времени жизни состояний способом, указанным выше, является весьма приближенной. В работе [1] приведено значение  $\tau_{S'_n} = 2 \cdot 10^{-12}$  с, для этих же  $\tau_{S''_n} = 2 \cdot 10^{-8}$  с,  $\eta = 1 \cdot 10^{-5}$  для состояния  $S'_n$  в предположении, что КЛ в области  $350\div 450$  нм представлена излучательной дезактивацией только состояния  $S'_n$ . Если же считать, что в этой спектральной области КЛ состояния  $S'_n$  и  $S''_n$  вносят примерно одинаковый вклад, то тогда и по данным наших измерений  $\tau_{S'_n} \simeq 2 \cdot 10^{-13}$  с. Принимая, что интенсивность полосы излучения  $S_0 \rightarrow S''_n$  приблизительно на порядок слабее интенсивности полосы  $S_0 \rightarrow S'_n$ , при тех же предположениях получим  $\tau_{S''_n} = 2 \cdot 10^{-12}$  с.

В заключение необходимо сказать, что на основании приведенных в статье сведений можно сделать обоснованный вывод о том, что свечение в коротковолновой области спектра при двухступенчатом возбуждении раствора Р6Ж принадлежит преимущественно возбужденным синглетным молекулам Р6Ж. Приведенная схема энергетических состояний дает представление о структуре неоднородно уширенных полос КЛ и характере поляризации переходов между этими состояниями.

#### Литература

- [1] М. Д. Галанин, З. А. Чижикова. Кратк. сообщ. по физике № 4, 35, 1971.
- [2] G. Orner, M. Torp. Chem. Phys. Lett., 36, 295, 1975.



- [3] G. Gillispie, E. Lin. J. Chem. Phys., 65, 2022, 1976.  
[4] D. Leupold, R. König, B. Voigt. Acta Phys. Chem., 19, 357, 1973.  
[5] Е. Н. Калитеевская, Т. К. Разумова. Опт. и спектр., 36, 1118, 1974.  
[6] I. B. Berlman. Handbook of Fluorescence spectra of aromatic Molecules. AP, New York and London, 1971.  
[7] А. В. Аристов, В. С. Шевандин. Опт. и спектр., 42, 201, 1977.  
[8] П. П. Феофилов. Поляризованная люминесценция атомов, молекул и кристаллов. ГИФМЛ, М., 1959.  
[9] П. П. Феофилов. Изв. АН СССР, сер. физ., 9, 317, 1945.  
[10] Ю. Т. Мазуренко. Опт. и спектр., 35, 234, 1973; В. В. Данилов, Ю. Т. Мазуренко, М. А. Тер-Погосян. Опт. и спектр., 38, 1224, 1975.  
[11] А. В. Аристов, Н. Г. Бахшиев, В. А. Кузин, И. В. Питерская. Опт. и спектр., 30, 143, 1971.  
[12] В. С. Шевандин, А. В. Аристов, М. И. Снегов, А. С. Черкасов. Тез. докл. III Всесоюзн. совещ. по фотохимии (Ростов-на-Дону, 1977 г.), 9, М., 1977.

Поступило в Редакцию 5 июля 1977 г.