

# МИГРАЦИОННО-РЕЗОНАНСНЫЙ ПЕРЕНОС ЭНЕРГИИ ВОЗБУЖДЕНИЯ В ЛЮМИНЕСЦИРУЮЩИХ РАСТВОРАХ

Ч. БОЯРСКИ

Гданьский Политехнический Институт, Институт Физики, Гданьск, Польша

Изучена роль диффузии энергии возбуждения в процессе тушения фотолюминесценции растворов посторонними веществами. Показано, что в случае концентрационного тушения диффузия энергии возбуждения в системе мономеров, увеличивает эффективность тушения. Доказано, что без учёта самотушения, предположение о полной локализации энергии возбуждения в пределе люминесцентного центра, неправильное.

## 1. Введение

Безызлучательный перенос энергии возбуждения обуславливает ряд концентрационных эффектов, наблюдаемых в люминесцирующих растворах. Здесь идет речь об явлении тушения фотолюминесценции (ФЛ) посторонними поглощающими веществами, концентрационном тушении а также концентрационной деполяризации ФЛ [1—9].

Если в растворе имеются только два сорта активных молекул — донора  $D$  и акцептора  $A$ , причем спектр люминесценции донора частично перекрывает спектр абсорбции акцептора, то в результате взаимодействия между этими молекулами может иметь место перенос энергии с  $D^*$  на  $A$  согласно схеме:

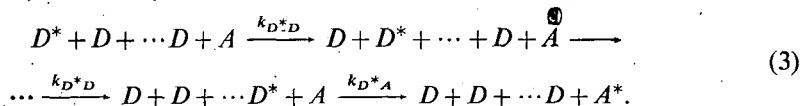


где  $k_{D^*A}$  константа скорости переноса, которая в случае диполь — дипольного взаимодействия равна [10]:

$$k_{D^*A} = \frac{1}{\tau_{0D}} \left( \frac{R_{0A}}{R} \right)^6, \quad (2)$$

где  $\tau_{0D}$  — длительность жизни возбужденного состояния донора при концентрации акцептора  $C_A = 0$ ,  $R_{0A}$  — критическое расстояние.

В случае высокой концентрации молекул  $D$  возможен также многоступенчатый процесс переноса энергии согласно схеме [1, 4, 7, 11]:



В последнее время было установлено, что многоступенчатый процесс играет существенную роль не только в случае тушения ФЛ посторонними веществами

[12] а также в случае концентрационного тушения ФЛ, когда оно обусловлено присутствием немногими несцирующими димеров в растворе [11, 13, 14]. В этом случае димеры  $D_{II}$  выступают в качестве акцепторов.

Явление концентрационной деполяризации фотолюминесценции (КДФ) в изотропных растворах может тоже объяснено переносом возбуждения между случайно ориентированными молекулами, причем в теориях КДФ основную задачу представляет вычисление вероятности испускания люминесценции молекулами, которые первоначально были возбуждены в результате поглощения света [15, 16].

Влияние миграции энергии в системе доноров на эффективность переноса возбуждения с  $D^*$  на  $A$  в последнее время главным образом в кристаллах было исследовано несколькими авторами [17—20]. Ниже будет доказано, что этот механизм имеет существенное значение для правильного описания упомянутых выше концентрационных эффектов в люминесцирующих растворах.

## 2. Тушение фотолюминесценции посторонними поглощающими веществами

2.1. В случае статистического распределения молекул  $D$  и  $A$  в растворе и в предположении, что безызлучательный перенос энергии возбуждения с  $D^*$  на  $A$  происходит согласно схеме (3), мы получили для квантового выхода ФЛ донора следующее выражение:

$$\frac{\eta}{\eta_0} = \frac{1-f(\gamma)}{1-\alpha_0 \frac{\gamma}{\gamma+1} f(\gamma)}, \quad (4)$$

где

$$f(\gamma) = \sqrt{\pi} \gamma \exp(\gamma^2) \left[ 1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^\gamma \exp(-t^2) dt \right], \quad (5)$$

$$\gamma = \gamma_D + \gamma_A = \frac{\sqrt{\pi} \eta_0}{2} \left( \frac{C_D}{C_{0D}} + \frac{C_A}{C_{0A}} \right). \quad (6)$$

Здесь  $\alpha_0$  — вероятность отсутствия деградации энергии при переносе между мономерами,  $C_D$  и  $C_A$  — концентрации донора и акцептора,  $C_{0D}$  и  $C_{0A}$  — критические концентрации для безызлучательного переноса энергии с  $D^*$  на  $D$  и с  $D^*$  на  $A$ ,  $\eta_{0D}$  — квантовый выход ФЛ донора при  $C_A \rightarrow 0$ . Если

$$\gamma = \frac{\gamma_D}{\gamma_A} \ll 1, \quad (7)$$

тогда  $\gamma \rightarrow \gamma_A$  и выражение (4) принимает вид:

$$\frac{\eta}{\eta_0} = 1 - f(\gamma_A), \quad (8)$$

который соответствует формуле впервые полученной Фёрстером [21] а позже также другими авторами [22—25]. Выражение (8) соответствует безызлучательному прямому переносу с  $D^*$  на  $A$  по схеме (1).

2.2. На рис. 1 приведены экспериментальные результаты зависимости квантового выхода ФЛ донора от концентрации акцептора для двух разных донор-акцепторных пар и для разных отношений « $y$ » приведенных концентраций донора и акцептора [12]. Сплошные линии представляют теоретические кривые (4) для разных значений « $y$ » и  $\alpha_0 = 1$ . В случае системы Na — флуоресцеина и флоксина в глицерине значения  $\eta/\eta_0$ , отвечающие высшим

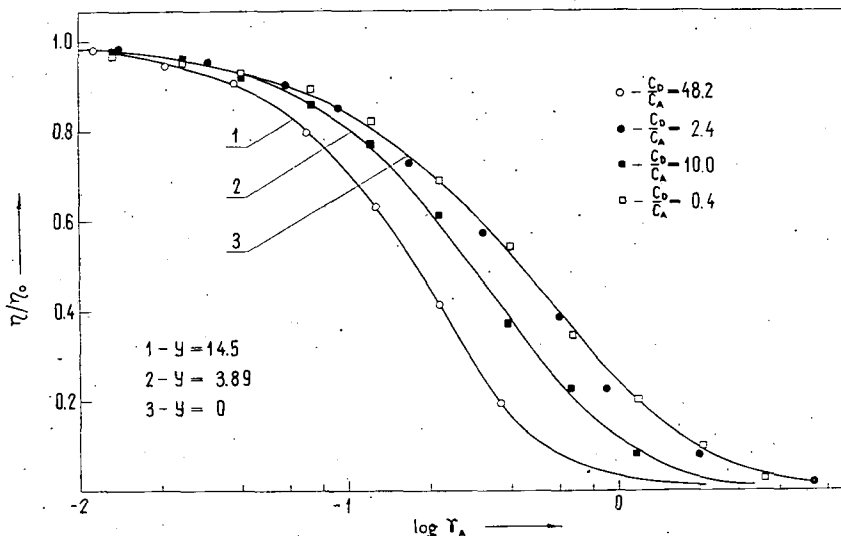


Рис. 1. Зависимость квантового выхода ФЛ Na — флуоресцеина от приведенной концентрации флоксина в водно-глицериновых растворах (○, ●) а также акрифлавина от приведенной концентрации родамина Б в метаноле (□, ■). Непрерывными линиями представлены теоретические кривые вычисленные по формуле (4) для разных значений  $y = \gamma_D/\gamma_A$ .

значениям  $C_D/C_A$  (○) значительно меньше (при той самой концентрации  $C_A$ ) по сравнению со значениями  $\eta/\eta_0$ , отвечающими низшим значениям  $C_D/C_A$  (●). Закономерности<sup>1</sup> этого рода наблюдаются для системы акрифлавина и родамина Б в метаноле (□, ■). Кривая 3, соответствующая формуле Фёрстера (8), описывает правильно только систему с отношением  $C_D/C_A = 0,4$ , которому отвечает  $y = 0,16$ . В случае систем с высшими отношениями  $C_D/C_A$  экспериментальные точки значительно отклоняются от кривой 3. Формула (4) описывает хорошо все исследованные системы<sup>2</sup> так с большими, как и с малыми значениями  $C_D/C_A$  (кривые 1, 2 и 3). В виду сильной зависимости

<sup>1</sup> О подобных результатах сообщено в последнее время в нескольких работах [26—30].

<sup>2</sup> Кривая 3 только приблизительно описывает систему с отношением  $C_D/C_A = 2,4$  ( $y = 0,72$ ). Эти результаты лучше описываются формулой (4) для  $y = 0,72$  [12].

$\eta/\eta_0$  от значения параметра « $y$ » половинная концентрация как и крутизна<sup>3</sup>  $S$  кривой тушения также зависят от значения « $y$ ».

На рис. 2 показана приведенная половинная концентрация акцептора  $\gamma_{A, 1/2} = \sqrt{\eta_{0D}} C_{A, 1/2}/C_{0A}$  (а также крутизна  $S$ ) в зависимости от параметра « $y$ » вычисленная при помощи формулы (4) ( $C'_{0A} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} C_{0A}$ ). Для  $y=0$  и  $\eta_0=1$  получается  $C_{A, 1/2} = 0,43 C'_{0A}$ , что соответствует соотношению приведённой Фёрстером (стр. 219 в [1]).

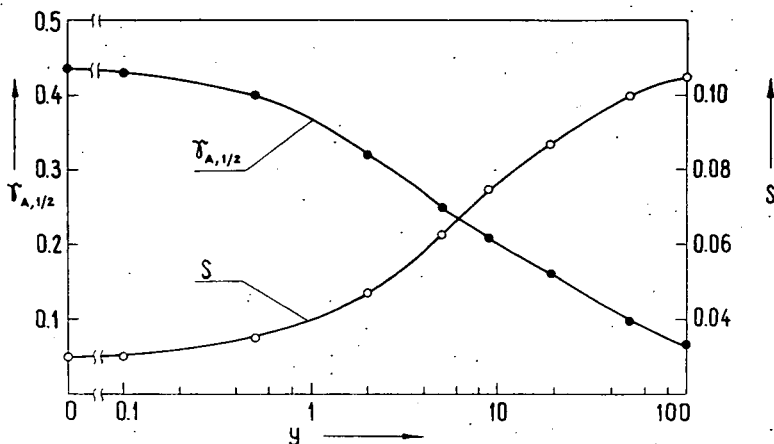


Рис. 2. Зависимость приведенной половинной концентрации  $\gamma_{A, 1/2}$  и крутизны  $S$  кривой тушения от параметра  $y$ .

Вышеприведённые теоретические и экспериментальные результаты доказывают существенного влияния посредничества молекул донора, находящихся в окружении молекулы  $D^*$  на безызлучательный перенос возбуждения на молекулу  $A$  согласно схеме (3). Этот механизм играет существенную роль в случае, когда неравенство (7) не выполняется т. е. в системах с большим значением  $\gamma_D/\gamma_A$  и в области высоких концентраций  $C_D$ . Следует отметить хорошее согласие теории с экспериментом тем более, что параметры  $C_{0D}$ ,  $C_{0A}$  и  $\eta_{0D}$  входящие в формулу (6), были определены опытным путём.

### 3. Концентрационное тушение фотолюминесценции

3.1. Во многих случаях концентрационное тушение ФЛ может быть объяснено безызлучательным переносом энергии с возбужденных мономеров  $D^*$  на нелюминесцирующие димеры  $D_{II}$  [1, 13, 31—34]. Такой перенос может происходить многоступенчато, согласно схеме (3) [34—37, 11]. Пред-

<sup>3</sup> Крутизна  $S$  кривой тушения определяется отношением  $\frac{C_{0,9}}{C_{0,1}}$  концентраций, отвечающих 10- и 90- процентному падению  $\eta/\eta_0$ .

полагая только прямой перенос возбуждения и малое значение степени димеризации

$$\alpha = \frac{C''}{2C} \ll 1, \tag{9}$$

Фёрстер получил на квантовый выход ФЛ приближенную формулу:<sup>4</sup>

$$\frac{\eta}{\eta_0} = \frac{1}{1 + \frac{KC^3}{2C_0''^2}}, \tag{10}$$

где  $K = C''/C'^2$  — константа димеризации.

Для правильного описания концентрационного тушения ФЛ можно использовать выр. (4), если принять, что в роли доноров и акцепторов выступают мономеры и димеры.

В таком случае

$$\frac{\eta}{\eta_0} = \frac{1 - f(\gamma)}{1 - \alpha_0 \frac{\gamma_D}{\gamma} f(\gamma)}, \tag{4'}$$

$$\gamma = \gamma_D + \gamma_{D_{II}} = \frac{\sqrt{\pi\eta_0}}{2} \left( \frac{C'}{C'_0} + \frac{C''}{C''_0} \right), \tag{6'}$$

где  $C'$  и  $C''$  — концентрации мономеров и димеров,

$C'_0$  и  $C''_0$  — критические концентрации переноса возбуждения с  $D^*$  на  $D$  и с  $D^*$  на  $D_{II}$ .

3.2. На рис. 3 приведены экспериментальные результаты, касающиеся концентрационного тушения ФЛ Na — флуоресцеина в глицерине [33] а также родамина 6Ж в глицерине [13].

На этом рисунке представлены и теоретические кривые рассчитанные по формуле (4') для двух значений безразмерной константы димеризации<sup>5</sup>  $K_\gamma$  и нескольких значений параметра  $\alpha_0$  (непрерывные линии) а также кривые<sup>6</sup>

<sup>4</sup> Формула (10) совпадает с формулой Душинского [38].

<sup>5</sup> Между безразмерной константой равновесия  $K_\gamma = \gamma_{D_{II}}/\gamma_D^2$  и константой димеризации  $K = C''/C'^2$  имеется соотношение:

$$K_\gamma = \frac{2KC_0''^2}{\sqrt{\pi\eta_0} C'_0}. \tag{11}$$

<sup>6</sup>  $\eta/\eta_0$  представлено в зависимости от  $\gamma = C/C'_0$ . Однако для растворов Na-флуоресцеина

$$\gamma_{D_{II}} \ll \gamma_D \tag{12}$$

всей области концентраций и  $\gamma \cong \gamma \sim \frac{C'}{C'_0}$ , что требовали бы учета в выр. (10) фактора  $\frac{KC_0''}{2} \left( \frac{C'_0}{C''_0} \right)^3$

вместо  $\frac{KC_0''}{2}$ . Это касается также растворов родамина 6Ж, хотя в этом случае неравенства

(12) и (9) не выполняются в такой степени, как для Na-флуоресцеина. Однако учет этих поправок изменил бы незначительно кривые 3 и 6.

Таблица 1.

Экспериментальные данные, необходимые для определения  $K_r$  и  $\gamma$  для растворов Na — флуоресцеина и родамина 6Ж в глицерине

	Вязкость пуазы	$C_0''$	$C_0'$	K л/моль	$\eta_0$
		$10^{-3}$ моль/л			
Na-флуоресцеин в глицерине	3,3*	3,17	4,52	0,065	0,89
родамин 6Ж в глицерине	5,3**	2,37	3,06	11,1	0,60

\*  $T = 303^\circ \text{K}$

\*\*  $T = 293^\circ \text{K}$

рассчитанные по формуле (10) для тех значений  $K$  и  $C_0''$  на основе которых определено  $K_r$ . Значения  $K$ ,  $C_0''$  а также  $C_0'$  и  $\eta_0$  характеризующие упомянутые растворы, приведены в таблице 1. Как видно из рис. 3, выр. (4') в отличие от выр. (10) хорошо описывает результаты экспериментов во всей области концентраций. Приближенная формула (10) предусматривает значительно высшие значения  $\eta/\eta_0$  так в случае системы с малыми, как и с большими значениями константы димеризации. Необходимо подчеркнуть, что теоретические кривые, для которых наблюдается согласие с экспериментом (кривые 1 и 4), соответствует  $\alpha_0 < 1$ . Это значит, что рядом с тушением ФЛ димерами имеет место добавочный механизм тушения. Следует заметить, что параметр  $\alpha_0$  не одинаково влияет на ход кривых соответствующих разным значениям  $K_r$ . При высших

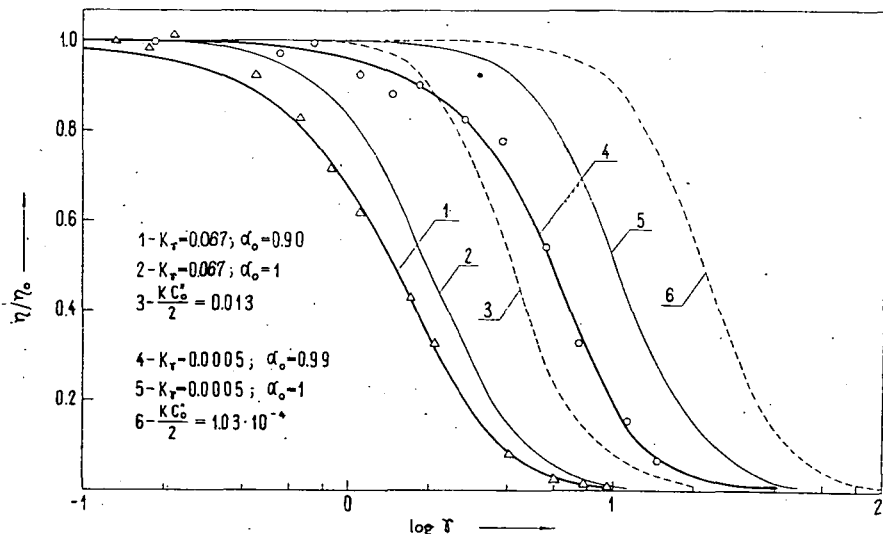


Рис. 3. Квантовые выходы ФЛ глицериновых растворов Na — флуоресцеина (○) и родамина 6Ж (Δ) в зависимости от приведенной концентрации  $\gamma$ . Непрерывные линии — теоретические кривые по формуле (4') для нескольких значений  $K_r$  и  $\alpha_0$ ; прерывистые линии — по формуле (10).

значениях  $K_y$ , это влияние меньше, чем при более низких значениях  $K_y$  (см. кривые 2 и 1, а также 5 и 4 на рис. 3).

Наблюдаемая в данном случае крутизна  $S$  кривых тушения значительно превосходит аналогичную величину соответствующую тушению посторонними поглощающими веществами и сильно зависит от значения константы димеризации. То же самое касается половинной концентрации  $\gamma_{1/2}$ . На рис. 4 пред-

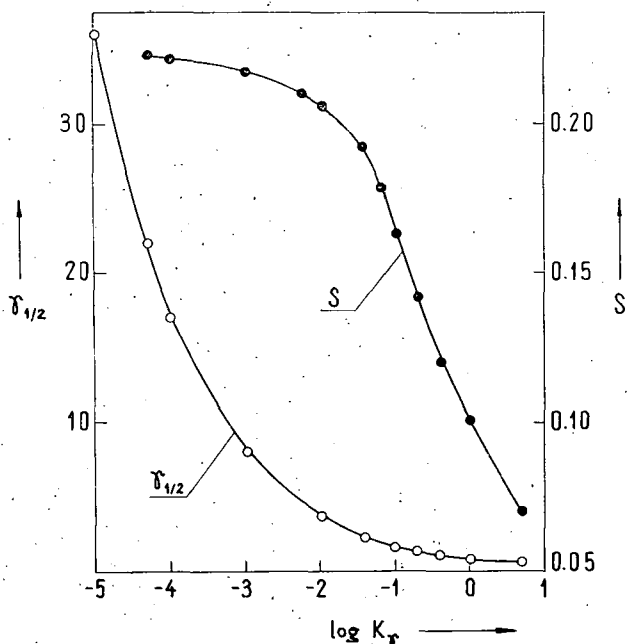


Рис. 4. Зависимость приведенной половинной концентрации  $\gamma_{1/2}$  и крутизны  $S$  кривой тушения ФЛ от значения константы димеризации.

ставлены зависимости  $S$  и  $\gamma_{1/2}$  от  $K_y$  вычисленные на основе выр. (4') для  $\alpha_0 = 1$ . В области малых  $K_y$  крутизна  $S$  очень большая ( $\sim 0,2$ ) и только в случае сильной димеризации она снижается, достигая значения сравнимые со значениями для кривых тушения посторонними веществами, соответствующим большим отношениям  $\gamma_D/\gamma_A$  (см. рис. 2). Половинная концентрация  $C_{1/2}$  в случае систем с  $K_y < 10^{-4}$  более чем в 20 раз превышает критическую концентрацию  $C'_0$ . Для систем со сильной димеризацией ( $K_y > 0,1$ ) значения  $C_{1/2}$  приближаются к значению  $C'_0$ . На рис. 5 приведены те же экспериментальные результаты, касающиеся родамина 6Ж, что и на рис. 3. Однако квантовый выход представлен здесь в зависимости от  $\gamma_{DII}$  а не от  $\gamma$ .

На этом рисунке дополнительно приведены теоретические кривые вычисленные на основе формулы (4') для того же значения  $K_y$  и  $\alpha_0$  (кривые 1 и 2). Кривая 3 представлена для  $K_y \rightarrow \infty$  и  $\alpha_0 = 1$  соответствует прямому переносу возбуждения с  $D^*$  на  $D_{II}$ . Она идентична с кривой 3 на рисунке 1. Видно, что

экспериментальные точки значительно отклоняются от кривой 3 во всей области концентраций. Этот факт выступает сейчас ещё более чётко<sup>7</sup>, чем в случае тушения ФЛ посторонними поглощающими веществами; что указывает на необходимость учета многоступенчатого механизма (3) для правильного описания концентрационного тушения в исследуемых растворах.

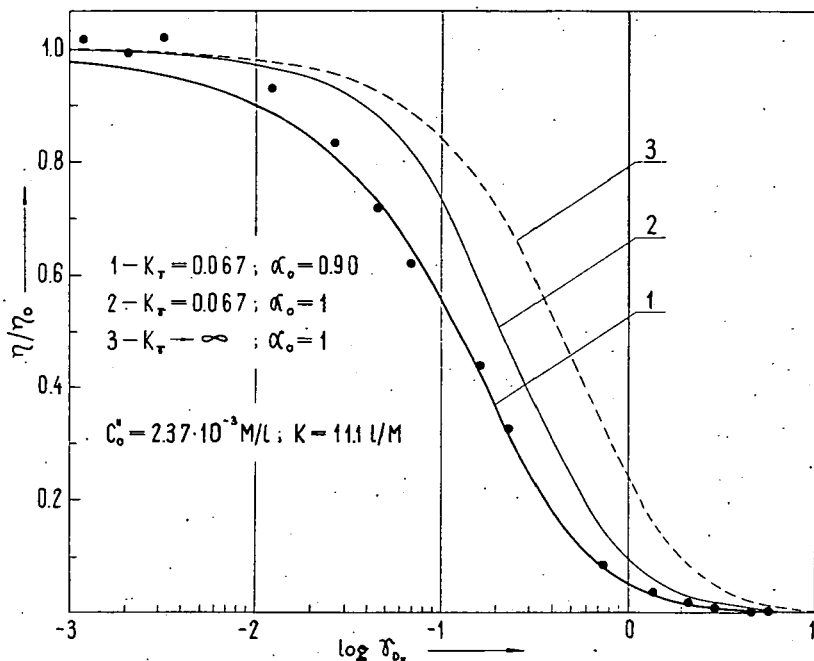


Рис. 5. Квантовый выход ФЛ родамина 6Ж в глицерине в зависимости от приведенной концентрации димеров  $\gamma_{D_{II}}$ .

#### 4. Ремиграция и самотушение в теории концентрационной деполаризации фотолюминесценции (КДФЛ)

Правильное описание КДФЛ требует учета самотушения а также ремиграции энергии к молекулам  $D_0$ , которые были первоначально возбуждены поглощением света. Известно, что в случае статистического распределения ориентации молекулярных осцилляторов, только молекулы  $D_0$  вносят вклад в степень поляризации наблюдаемой люминесценции [39—41].

Эффективность ремиграции возбуждения зависит от концентрации люминесцирующего вещества и от самотушения, обусловленного многоступенчатым переносом возбуждения с  $D^*$  на  $D_{II}$  [42]. Эта проблема была рассмотрена

<sup>7</sup> Еще большего несогласия следовало бы ожидать в случае систем с низшим значением  $K_T$ .



рена с помощью модели люминесцентного центра (названного моделью наиболее вероятного пути MPP), состоящего из молекул  $D_0, D_1, D_2$ , где  $D_1$  — самый ближний сосед  $D_0$ , а  $D_2$  — самый ближний (или второй после  $D_0$ ) сосед  $D_1$  [42]. Там получены выражения для относительных выходов  $\frac{\bar{\eta}(0)}{\eta_0}$ ,  $\frac{\bar{\eta}_1}{\eta_0}$  и  $\frac{\bar{\eta}_2}{\eta_0}$  фотолюминесценции испускаемой соответственно молекулами  $D_0, D_1, D_2$ . На рис. 6 сравнено выр. (4'), определяющее полный выход ФЛ растворов с выходом

$$\left(\frac{\eta}{\eta_0}\right)_{\text{MPP}} \equiv \frac{\bar{\eta}(0)}{\eta_0} + \frac{\bar{\eta}_1}{\eta_0} + \frac{\bar{\eta}_2}{\eta_0} \approx (1-f) \left[ 1 + \frac{\alpha f + (\alpha f)^2}{1 - \frac{3}{4}(\alpha f)^2} \right] \quad (13)$$

фотолюминесценции испускаемой только молекулами  $D_0, D_1, D_2$ <sup>8</sup>. Выражения (4) и (13) представлены для  $K_r=0$  и  $K_r=0,1$  ( $\alpha_0=1$ ). Следует отметить, что в

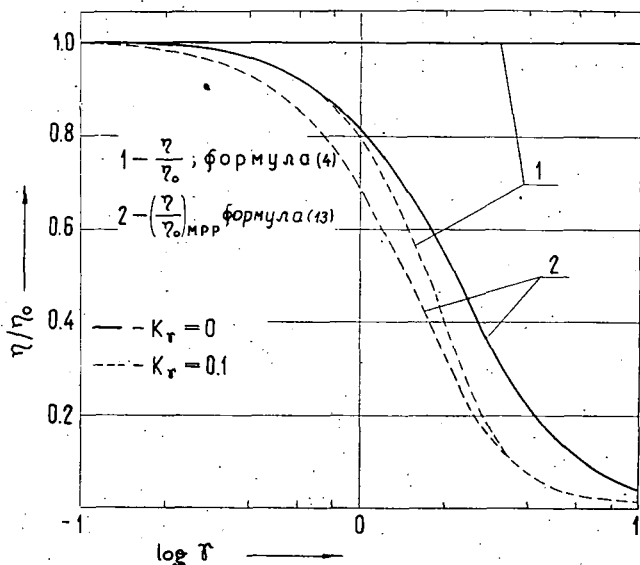


Рис. 6. Концентрационная зависимость квантового выхода ФЛ в случаях:

- 1) число активных молекул в центре люминесценции  $N \rightarrow \infty$  (кривые 1); 2)  $N=3$  (кривые 2).

<sup>8</sup> Выр. (13) получено из выр. (14) — (16) (из [42]), принимая в них формально фактор Ериксона и Оре [43]  $\bar{Q} = \frac{1}{2}$ , что отвечает равномерному распределению молекул в люминесцентном центре. Выр. (13) представляет хорошее приближение точного выражения, в котором  $\bar{Q} = \bar{Q} \left( \frac{c''}{c_0''} \right)$  и принимает значения в интервале  $(1, 0,6)$  для  $\frac{c''}{c_0''} \in (0, \infty)$ .

случае когда самотушения не наблюдается ( $K_7=0$ ) выходы  $\left(\frac{\eta}{\eta_0}\right)_{MPP}$  и  $\frac{\eta}{\eta_0}$  очень сильно различаются в области больших  $\gamma$  (непрерывные кривые 1 и 2). Резкое уменьшение выхода  $\left(\frac{\eta}{\eta_0}\right)_{MPP}$  в области высоких  $\gamma$  обусловлено эффективной отдачей энергии возбуждения из люминесцентного центра к активным молекулам, не принадлежащим к центру. Отсюда следует, что предположение о полной локализации энергии возбуждения в пределе центра люминесценции, состоящего из небольшого числа молекул, неправильно в тех случаях, когда не учитывается самотушение в растворах достаточно высокой концентрации. В случае  $K_7=0,1$  разница выходов  $\frac{\eta}{\eta_0}$  и  $\left(\frac{\eta}{\eta_0}\right)_{MPP}$  относительно мала и практически исчезает для самых больших концентраций (прерывистые кривые 1 и 2).

### 5. Заключение

Приведенные экспериментальные результаты доказывают, что многоступенчатый механизм переноса возбуждения играет существенную роль в люминесцирующих растворах. Его значение особенно велико в случае растворов с большим отношением приведенных концентраций донора и акцептора, а также высокой концентрации донора. При концентрационном тушении, когда в роли акцептора энергии выступают нелюминесцирующие димеры, миграция энергии возбуждения в системе доноров эффективно увеличивает тушение ФЛ. Этот механизм существенно влияет также на ход кривых КДФЛ. В случае растворов, в которых концентрационное тушение ФЛ не имеет место, многократный перенос возбуждения между молекулами со случайной пространственной ориентировкой приводит не только к деполяризации свечения, а также к отдаче энергии возбуждения вне предела люминесцентного центра.<sup>9</sup> Это обстоятельство имеет существенное значение при вычислении вероятности ремиграции возбуждения к молекулам  $D_0$  а также выхода  $\eta_{(0)}$  ФЛ этих молекул. В случае растворов, в которых самотушение имеет место ( $K_7 > 0$ ) многоступенчатый механизм ведет в области высоких концентраций к эффекту реполяризации ФЛ.

Настоящая работа выполнялась по программе Польской Академии Наук ПАН — 3.2.08.

### Литература

- [1] Förster, Th.: Fluoreszenz organischer Verbindungen. Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen, 1951.
- [2] Jabłoński, A.: Acta Phys. Polon. 13, 175 (1954); 14, 295 (1955); 17, 481 (1958).
- [3] Галанин, М. Д.: „Труды ФИАН СССР”, 12, 3 (1960).
- [4] Levshin, V. L.: Acta Phys. Polon. 26, 455 (1964).
- [5] Szalay, L.: Acta Phys. Polon. 26, 511 (1964).
- [6] Ketskeméty, I.: Z. Naturforsch. 20a, 82 (1965).
- [7] Bojarski, C., J. Domsta: Acta Phys. Hung. 30, 145 (1971).

<sup>9</sup> В моделях люминесцентного центра принимается вообще, что они состоят из небольшого числа активных молекул, находящихся в ближайшем окружении  $D_0$ .

- [8] *Kawski, A., J. Kamiński, E. Kuteń*: J. Phys. B Atom. Molec. Phys. 4, 609 (1971).
- [9] *Саръжэвскіі, А. М., А. Н. Севченко*: Анизотропія паглынэння і іспускання света молекуламі, Мінск, 1971.
- [10] *Förster, Th.*: Ann. Physik (Leipzig) 2, 55 (1948).
- [11] *Bojarski, C.*: Z. Phys. Chem. Frankfurt 75, 242 (1971).
- [12] *Bojarski, C., F. Burak, E. Grabowska, L. Kaczyńska*: Z. Naturforsch., in Druck.
- [13] *Bojarski, C., J. Kuśba, G. Obermüller*: Z. Naturforsch. 26a, 255 (1971).
- [14] *Bojarski, C., A. Bujko, J. Dudkiewicz, J. Kuśba, G. Obermüller*: Acta Phys. Polon. in press.
- [15] *Ore, A., E. L. Eriksen*: Physica Norvegica 5, 57 (1971).
- [16] *Bojarski, C.*: J. Luminescence 5, 413 (1972).
- [17] *Буршэтін, А. И.*: ЖЭТФ 62, 1965 (1972).
- [18] *Сақун, В. П.*: ФТТ 14, 2199 (1972).
- [19] *Розман, И. М.*: Изв. АН СССР. сер. физ. 37, 502 (1973).
- [20] *Golubov, S. I., Yu. V. Konobeev*: phys. stat. sol. (b) 56, 69 (1973).
- [21] *Förster, Th.*: Z. Naturforsch. 4a, 321 (1949).
- [22] *Галанин, М. Д.*: ЖЭТФ 28, 485 (1955).
- [23] *Самсон, А. Н.*: Оптика и спектроскопия 4, 511 (1962).
- [24] *Багдасарян, М. С., А. Л. Мулер*: Оптика и спектроскопия 18, 990 (1965).
- [25] *Агрест, М. М., С. Ф. Кулин, М. М. Рикенглаз, И. М. Розман*: Оптика и спектроскопия 27, 946 (1969).
- [26] *Bojarski, C.*: Acta Phys. Polon. 33, 573 (1968).
- [27] *Levshin, V. L., Yu. I. Grineva*: Acta Phys. Polon. 34, 791 (1968).
- [28] *Горшков, В. К.*: Труды I-ого Всесоюзного семинара по безызлучательной передаче энергии в конденсированных средах, Ереван, 139 (1970).
- [29] *Горшков, В. К., В. А. Яшин*: Труды I-ого Всесоюзного семинара по безызлучательной передаче энергии в конденсированных средах, Ереван, 149 (1970).
- [30] *Жевандров, Н. Д., В. К. Горшков, В. А. Яшин*: Ж. прикл. спектроскопии 15, 107 (1971).
- [31] *Левшин, В. Л.*: Изв. АН СССР. сер. физ. 27, 540 (1963).
- [32] *Strauss, G., S. B. Brody, T. Kuruscev*: J. Chem. Phys. 75, 2727 (1971).
- [33] *Bojarski, C., J. Dudkiewicz*: Z. Naturforsch. 27a, 1751 (1972).
- [34] *Rabinowitch, E.*: Photosynthesis. Interscience Publishers, Inc., New York, 1956 pp. 1280—1310.
- [35] *Förster, Th.*: Comprehensive Biochemistry (Ed. by M. Florkin and E. H. Stolz), Elsevier, Amsterdam, (1967) Vol. 22. pp. 61—80.
- [36] *Perrin, F.*: Compt. Rend. 192, 1727 (1931).
- [37] *Dexter, D. L.*: J. Chem. Phys. 21, 836 (1953).
- [38] *Душинский, Ф. А.*: ДАН СССР 14, 73 (1937).
- [39] *Галанин, М. Д.*: „Труды ФИАН СССР” 5, 341 (1950).
- [40] *Ketskeméty, I.*: Acta Phys. Chem. Szeged 1, 29 (1955).
- [41] *Jabłoński, A.*: Acta Phys. Polon. A38, 453 (1970).
- [42] *Bojarski, C.*: Ogólnopolska Konferencja Luminescencyjna, Toruń, 1972. II Luminescencja Substancji Organicznych, Preprint Nr 206, s. 14—22.
- [43] *Eriksen, E. L., A. Ore*: Physica Norvegica 2, 159 (1967).

## RESONANCE MIGRATION OF EXCITATION ENERGY IN LUMINESCENT SOLUTIONS

*C. Bojarski*

The role of the exciting energy diffusion in the process of quenched fluorescence caused by foreign substance was studied. It was found that in the case of concentration quenching in monomer systems the diffusion of the exciting energy increased the efficiency of quenching. It was demonstrated that, without taking into consideration self quenching, the hypothesis of total localization of the exciting energy in the surroundings of the luminescent center is incorrect.