

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ КИНЕТИКИ РАДИО- И ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ЖИДКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ МОЛЕКУЛЯРНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ НЕВЯЗКИХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ

Л.Ш. Афанасиади, А.Г. Витухновский, Н.З. Галунов, И.В. Лысова, М.И. Случ

Проведено сравнение кинетики быстрого компонента импульсов люминесценции жидких растворов сцинтилляторов на основе толуола при радио- и фотовозбуждении.

В процессе радиолюминесценции органических молекулярных систем, как и в случае их фотовозбуждения, существенное влияние на величину, форму и спектральный состав импульса люминесценции оказывает процесс передачи энергии между флуоресцирующими молекулами. Отличительной особенностью люминесценции вещества, возникающей под действием ионизирующего излучения, является процесс размена энергии возбуждения, сопровождающийся образованием носителей заряда. Характерная длительность подобных процессов достаточно мала, и поэтому в существующей теории их влияние на кинетику формирования импульса радиолюминесценции не учитывается [1/].

Однако уже первые исследования точной формы импульсов радиолюминесценции пластмассовых сцинтилляторов [2, 3/], органических кристаллов [3, 4/] на аппаратуре с субнаносекундным быстродействием показали наличие дополнительной задержки моментов высвечивания фотонов радиолюминесценции, обусловленное процессом локализации носителей заряда на ловушках структурного и поляризационного характера [4/]. Характерная длительность такой задержки ($\sim 10^{-10}$ с) превышала длительность процесса переноса энергии электронного возбуждения между молекулами основного вещества и добавок в быстродействующих сцинтилляторах. В жидких сцинтилляторах (ЖС) на основе невязких растворителей, где длительность процессов рекомбинации зарядовых состояний обусловлена частотой столкновений их молекул, подобная задержка не должна возникать. Поэтому ЖС перспективны в задачах поиска быстродействующих систем, а сравнение кинетик их радио- и фотолюминесценции представляет безусловный интерес.

В данной работе исследовались ЖС на основе толуола (табл. 1). В качестве люминесцентной добавки использовались молекулы одного из наиболее эффективных в сцинтилляционной технике люминофора — PBD (2-фенил-5(4-бифенилил)-оксадиазола — 1, 3, 4). Его производная 2MPBD (2(2-толил)-5(4-бифенилил)-оксадиазол—1, 3, 4) по своим люминесцентным характеристикам является полным аналогом PBD, однако обладает более высокой предельной растворимостью. Это позволяет создать ЖС, для молекул люминесцентной добавки которого наблюдается интенсивное концентрированное тушение, т.е. ЖС с малым временем высвечивания τ . Для использования сцинтилляторов в координатно-чувствительных счетчиках необходимо обеспечить максимально возможное быстродействие в детекторах больших размеров. В этом случае для ослабления негативного влияния на форму импульса люминесценции процесса реабсорбции, многократно возникающего в бинарных системах основа — люминесцентная добавка, вводят молекулы вторичной спектросмещающей добавки. Такая ситуация рассмотрена на примере ЖС, содержащего PBD и POPOP (1,4-бис(2-(5-фениллоксазол)-бензол).

Исследование кинетики радио- и фотолюминесценции проводилось методом счета отдельных фотонов с последующей обработкой результатов эксперимента на ЭВМ, позволяющей исключить влияние аппаратной функции на форму импульса люминесценции. Особенности методики исследования радиолюминесценции (возбуждение β -частицами от радионуклида $^{90}\text{Y} + ^{90}\text{Sr}$) описаны в [3, 4/]. Результаты исследований приведены в табл. 1. Форма импульсов радиолюминесценции бинарных ЖС наилучшим образом описывалась формулой

$$i(t) = i_0 \exp(-t/\tau_1) * \exp(-t/\tau) \equiv i_0 \int_0^t \exp(-(t-\theta)/\tau_1) \exp(-\theta/\tau) d\theta, \quad (1)$$

а ЖС, содержащих РОРОР, формулой

$$i(t) = i_0 \exp(-t/\tau_1) * \exp(-t/\tau_2) * \exp(-t/\tau), \quad (2)$$

где i_0 — нормировочный множитель; τ_1, τ_2, τ — постоянные размерности времени; t — время, отсчитываемое от момента возбуждения.

Форма импульсов люминесценции бинарных ЖС при фотовозбуждении низших синглетных возбужденных состояний молекул PBD и 2MPBD характеризовалась экспоненциальным спадом с постоянной времени τ . Аналогичный результат наблюдался для ЖС, содержащего РОРОР, при фотовозбуждении молекул последнего. При фотовозбуждении молекул PBD в ЖС, содержащем РОРОР, форма затухающего участка импульса радиoluminesценции наилучшим образом аппроксимировалась формулой вида (1). Попытка аппроксимировать затухание импульса фотoluminesценции для ЖС, содержащего РОРОР, одной экспонентой (подобно тому, как это делалось в экспериментах при радиовозбуждении) давала значение $\tau \sim 1,85$ нс.

Для многокомпонентной системы вероятность возбуждения ионизирующим излучением ее i -го компонента пропорциональна его электронной доле $c_i n_i / \sum c_k n_k$, где c_k — мольная доля, n_k — количество электронов в молекуле k -го компонента. Так как концентрация молекул добавок по сравнению с концентрацией молекул толуола в ЖС мала, то можно с высокой степенью точности считать, что ионизирующее излучение возбуждает молекулы толуола. Возбуждение молекул добавок происходит вследствие переноса энергии электронного возбуждения. Сравнение значений τ для бинарных ЖС в случае радио- и фотовозбуждения (табл. 1) указывает на их хорошее соответствие. Подобное утверждение, с учетом замечаний по особенностям аппроксимации формы импульса, справедливо и для ЖС, содержащих РОРОР. Таким образом, процессы формирования импульсов радио- и фотoluminesценции (без учета этапа возбуждения молекул толуола) не обладают какими-либо различиями. Как видно из табл. 1, значения τ_1 для случая возбуждения β -частицами зависят от концентрации люминесцентной добавки, а хорошее соответствие формы импульсов радиoluminesценции аппроксимации (1) указывает на отсутствие дополнительной задержки моментов излучения фотонов радиoluminesценции на времена, сравнимые по порядку величины с τ_1 /3/.

Таблица 1

Параметры кинетики радио- (I) и фотoluminesценции (II) ЖС на основе толуола

Добавка	Концентрация, г/л	τ_1 , нс		τ_2 , нс		τ , нс	
		I	II	I	II	I	II
PBD	10	0,20	—	—	—	0,94	1,14
2MPBD	25	0,14	—	—	—	0,75	0,56
PBD	10	0,20	—	0,70	—	1,95	
РОРОР	0,1						1,22*
PBD	10	—	0,86	—	1,28	—	—
РОРОР	0,1						

* Случай фотовозбуждения РОРОР.

Таким образом, длительность процесса перехода молекул толуола из высших энергетических состояний (с учетом зарядовых) в низшее синглетно-возбужденное состояние не должна превышать 10^{-11} с, а кинетики формирования вспышек радио- и фотолюминесценции не должны обладать сколько-нибудь существенными различиями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Brooks F. D. Nucl. Instr. Meth., **162**, 471 (1978).
2. Begston B., Moszynski M. Nucl. Instr. Meth., **155**, 221 (1978).
3. Галунов Н. З. ЖПС, **39**, 659 (1983).
4. Krainov I. P., Galunov N. Z., Budakovsky S. V. Cryst. Res. Tech., **24**, 193 (1989).

Поступила в редакцию 28 января 1990 г.