

Значения сечения процесса $\gamma\gamma \rightarrow W^+W^-$ и поправки к нему были получены методами численного интегрирования Монте-Карло. При этом предполагалось, что $\gamma\gamma$ -пучки являются неполяризованными, и производилось суммирование по поляризациям конечных частиц [5].

В работе [5] нами были исследованы зависимости сечений процессов $\gamma\gamma \rightarrow W^+W^-$ от аномальных констант, определенных в [4, 5]. Обнаружено, что учет поляризации рассеиваемых γ -квантов позволяет с высокой точностью (порядка 1 %) детерминировать вклады рассматриваемых аномальных лагранжианов в сечение данного процесса.

Литература

1. Hagiwara K., Peccei R. D. et al. // Nucl. Phys. 1987. B282. p.253.
2. TESLA Technical Design Report. Part 6. Chapter 1. // hep-ex/0108012.
3. Denner A., Dittmaier S. et al. // Nucl. Phys. 2000. B587. p.67, hep-ph/0006307.
4. Stirling W. J., Werthenbach A. // Eur. Phys. J. 2000. C14. p.103, hep-ph/9903315.
5. Marfin I., Mossolov V., Shishkina T. // hep-ph/0304250.

СПЕКТРАЛЬНО ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА ТИОФЛАВИНА Т В РАСТВОРАХ

Д. Г. Мельников

Накопление амилоидных фибрилл, возникающих при биосинтезе некоторых белков *in vivo*, приводит к развитию ряда тяжелых заболеваний, таких как: нейродегенеративные заболевания Альцгеймера и Паркинсона, катаракта, злокачественная миелома, прионные болезни и др. [1, 2]. Для тестирования амилоидных фибрилл *in vivo* и *in vitro* используется краситель тиофлавин Т (ThT), который специфически связывается только с амилоидными фибриллами, образуя интенсивно флуоресцирующий комплекс [3]. Однако его спектральные свойства изучены слабо, известно, только, что изменяется положение и форма спектров флуоресценции и возбуждения флуоресценции при связывании красителя с амилоидными фибриллами, по сравнению со спектрами в водном растворе, а так же существенным образом возрастает квантовый выход флуоресценции.

В настоящей работе проведено исследование спектрально-люминесцентных свойств ThT в растворах и полимерных пленках с целью выяснения причин существенного возрастания квантового выхода флуоресценции ThT при его встраивании в амилоидные фибриллы.

При проведении спектрально-люминесцентных измерений в работе использовались традиционные методические приемы. Спектры поглощения измерялись на однолучевом спектрофотометре PV 1251A фирмы SOLAR, в диапазоне 325–999 нм., исправленные спектры флуоресценции и возбуждения флуоресценции с помощью спектрофлуориметра Fluorolog фирмы Spex.

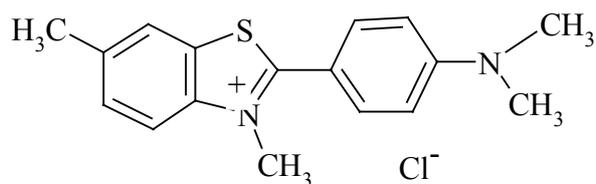


Рис.1. Структурная формула красителя тиофлавин Т

Установлено, что интенсивность и положение максимума длинноволновой полосы поглощения ThT в значительной мере зависят от растворителя. Эта полоса имеет наиболее коротковолновое положение максимума в случае водного раствора ThT, наиболее длинноволновое – в хлороформе и глицерине (табл. 1). Спектр поглощения ThT в смесях глицерин – вода по мере увеличения содержания глицерина сдвигается в длинноволновую сторону с одновременным увеличением интенсивности поглощения. Форма и положение максимума полосы флуоресценции не зависят, а интенсивность флуоресценции существенно зависит от растворителя. Наименьшая интенсивность флуоресценции зарегистрирована для водного раствора ThT, наибольшая – для ThT в глицерине. Эффективность флуоресценции ThT существенно повышается при увеличении вязкости или уменьшения полярности растворителя. В малополярных растворителях – дихлорбензол (ДХБ), хлористый метилен (ХМ) – квантовый выход флуоресценции ThT примерно на порядок выше, чем в этаноле, который обладает практически такой же вязкостью как и ДХБ (см. табл. 1). В тоже время, квантовый выход флуоресценции ThT в малополярном ХМ, примерно, в три раза ниже, чем в малополярном ДХБ, что коррелирует с отношением вязкостей этих двух растворителей.

На основании полученных результатов, выдвинуто предположение о том, что причиной низкого квантового выхода ThT в водном и спиртовых растворах является нарушение системы сопряженных связей за счет переориентации бензтиозольного и аминобензольного колец ThT в возбужденном состоянии друг относительно друга. Невозбужденная молекула тиофлавина имеет конфигурацию близкую к планарной. При возбуждении

Таблица 1

Спектрально-люминесцентные свойства тиофлавина Т в растворах

| № | Растворитель (20 °С) | ϵ | $\eta \cdot 10^3$ Н·с/м ² | λ_{abs} нм | $\Delta\lambda_{\text{abs}}$ нм | λ_{f} нм | $\Delta\lambda_{\text{f}}$ нм | ϕ_{f} % |
|---|----------------------|------------|---|------------------------------|------------------------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------------|
| 1 | Вода | 78,5 | 1,00 | 411 | 65 | 479 | 80 | - |
| 2 | Глицерин | 39 | 1495 | 420 | 62 | 497 | 87 | 6,1 |
| 3 | Этанол | 24,3 | 1,20 | 416 | 58 | 482 | 82 | 0,26 |
| 4 | ХМ | 8,9 | 0,43 | 432 | 51 | 504 | 75 | 1,2 |
| 5 | ДХБ | 9,9 | 1,30 | 439 | 51 | 505 | 108 | 3,9 |

происходит внутри молекулярный перенос заряда между кольцами. Возникающее равновесное состояние (с разделенными зарядами) может быть стабилизировано, если кольца выйдут из сопряжения и одно из колец повернется на 90° . Тогда обратный перенос заряда будет невозможен. Предполагается, что переходы с испусканием из этого состояния (с повернутыми друг относительно друга кольцами) имеют низкую эффективность. Стабилизация молекулы ThT в возбужденном состоянии может быть обеспечена полярным растворителем, молекулы которого переориентируются вслед за поворотом кольца. По-видимому, это происходит в случае, когда растворителем является вода или спирты.

Сделанные предположения получили подтверждение в результатах квантово-химического расчета геометрии катиона тиофлавина T полуэмпирическим методом PM3 и его электронного спектра методом ZINDO/S [4]. Расчеты показали, что молекула не является строго планарной, а минимальное значение энергии S_1^* -состояния принимает при угле между кольцами равном 90° , что соответствует предложенной модели. Другими словами это подтверждает предположение о том, что в «скрученной» вокруг одиночной связи TICT (twisted intermolecular charge transfer)-конформации [5, 6] молекула тиофлавина практически не флуоресцирует, поскольку уровни энергии в этом состоянии располагаются близко к основному состоянию, что обеспечивает эффективную безызлучательную дезактивацию энергии электронного возбуждения.

Квантовый выход флуоресценции тиофлавина T, зависит от полярности и вязкости растворителя. На основании проведенных квантово-химических расчетов геометрии молекулы тиофлавина T и расчета его электронного спектра, можно заключить, что в молекуле, «скрученной» П вокруг одиночной связи TICT-конформации, происходит эффективная безызлучательная дезактивация энергии электронного возбуждения в полярных растворителях. Тогда как неполярные растворители не могут компенсировать электростатическое взаимодействие между полярными фрагментами молекулы тиофлавина, в этом случае возможны переход молекулы обратно в планарную форму и высвечивание флуоресценции. В случае глицерина или пленки, вязкость микроокружения высока и процесс переориентации колец не успевает осуществиться за время жизни возбужденного состояния. Об этом свидетельствует высокий квантовый выход в глицерине и достаточно хорошее свечение флуоресценции ThT в пленке (полиметилметакрилат).

Жесткость микроокружения, препятствующая повороту колец после перехода молекулы ThT в возбужденное состояние, является, по-видимому, основным фактором, определяющим высокий квантовый вы-

ход флуоресценции ThT, как в глицерине, так и встроенного в амилоидные фибриллы.

Литература

1. Priola S. A. // Adv Protein Chem. 2001. V. 57. P. 1–27.
2. Uversky V. N., Li J., Fink A.L. // FEBS Letters. 2001. V. 500. P. 105–108.
3. LeVine H. // Methods Enzymol. 1999. V. 309. P. 274–228.
4. M.C. Zerner. // Semiempirical Molecular Orbital Methods. Reviews in Computational Chemistry II, eds. K.B. Lipkowitz, D.B. Boyd, VCH Publishers Inc., New York 1991. P. 313–366
5. Hsing-Kang Z., Ren-Lan M., Er-Pin N., Chu G. // J. Photochem. 1985. V. 29. P. 397–404.
6. Rettig W., Majenz W. // Chem. Phys. Lett. 1989. V. 154. P. 335–341.

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ СЕЧЕНИЯ РОЖДЕНИЯ ЧЕТЫРЕХ ПОЛЯРИЗОВАННЫХ ЛЕПТОНОВ НА ПУЧКАХ ПОЛЯРИЗОВАННЫХ ФОТОНОВ

В. А. Мосолов, И. А. Сотский, Т. В. Шишкина

На будущих линейных ускорителях помимо e^-e^- и e^+e^- столкновений планируется проведение экспериментов на $\gamma\gamma$ и γe пучках, где высокоэнергетические фотоны будут создаваться в процессе комптоновского рассеяния лазерного луча на быстрых электронах [1]. Процессы с участием фотонов обеспечивают дополнительные возможности в поиске «новой физики» и изучении неабелевой структуры электрослабого взаимодействия. Поскольку W^\pm и хиггсовские бозоны распадаются внутри детектора, их регистрация осуществляется только через вторичные продукты распада, например через пары лептонов в конечном состоянии. В силу высокой точности, которая достигается в измерениях такого рода, требуется столь же тщательный учет всех фонов. Одним из подобных процессов, вносящих значительный вклад в сечение, является $\gamma\gamma \rightarrow 2l^+2l^-$.

Данная реакция имеет 6 топологически независимых диаграмм. В соответствии с условиями планируемых экспериментов диаграммы с обменом заряженным током не рассматривались. Матричный элемент был построен как методом спиральных амплитуд, так и в рамках ковариантного подхода [2], [3], не содержащего каких-либо приближений [4]. Значения полного и дифференциального сечений данного процесса вычислены на основе метод численного интегрирования Монте-Карло.

Получены дифференциальные зависимости при всех возможных поляризациях взаимодействующих частиц. Обнаружено, что дифференци-