

**Импульсный метод исследования фотосинтеза:
фотохимическое и нефотохимическое тушение. Теоретическое исследование.**

Алексеев Алексей Алексеевич

Студент

Крылова Ирина Николаевна

Студентка

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: alex_msu_2@mail.ru

В последнее время широкое распространение получили импульсные методы исследования индукции флуоресценции фотосинтеза. [1] Конечная цель этих исследований – установить связь между особенностями кривой индукции флуоресценции и величинами, характеризующими эффективность фотосинтеза. Обычно в таких исследованиях применяются РАМ-флуорометры [2], использующие импульсный метод исследования индукции флуоресценции. Они позволяют определить величину q_Q (фотохимическое тушение), которая связана с окислительно-восстановительным состоянием первичного акцептора электронов фотосистемы II. Кроме того, определяется величина q_E (нефотохимическое тушение), которая связана с безизлучательными процессами превращения энергии при фотосинтезе. [2]

Измерение интенсивности флуоресценции фотосистемы II в фиксированные моменты позволяет получить, эти величины, связанные с измеряемыми интенсивностями следующими соотношениями:

$$q_Q = \frac{(F_V)_S - F_V}{(F_V)_S}; \quad q_E = \frac{(F_V)_M - (F_V)_S}{(F_V)_M};$$

В этих формулах $(F_V)_S$ – интенсивность флуоресценции во время сильного возбуждающего импульса, а $(F_V)_M$ – интенсивность в промежутке между импульсами при действии постоянного света низкой интенсивности. Отметим, что флуоресценция регистрируется в РАМ-флуорометрах с помощью слабых измерительных импульсов с частотой 1.6КГц. До настоящего времени физический смысл величин q_Q и q_E остаётся неясным. Обычно принимается, что значение q_Q пропорционально квантовому выходу фотохимического преобразования энергии в фотосистеме II. В настоящее время неизвестны экспериментальные и теоретические подтверждения этого предположения. [1] Вычисление величины q_Q с помощью развитой ранее теоретической модели первичных процессов фотосинтеза [3] показало, что во время действия импульсов доля закрытых реакционных центров фотосистемы II изменяется. Это усложняет определение эффективности преобразования энергии в фотосистеме II. В данной работе, используя ранее предложенную модель [4], мы попытались оценить эффективность преобразования энергии в первичных процессах фотосистемы II и сравнить её с коэффициентом q_Q . Анализ полученных результатов показал, что использование величины фотохимического тушения для оценки эффективности преобразования энергии в фотосистеме II требует выяснения условий применимости вышеприведённых формул.

Литература

1. K. Maxwell, Giles N. Johnson J. Exp. (2000) Chlorophyll fluorescence – a practical guide // Botany, Vol. 51, No. 345, pp. 659-668.
2. Schreiber U., Schliwa U., Bilger W. (1985) Continuous recording of photochemical and non-photochemical chlorophyll fluorescence quenching with a new type of modulation fluorometer // Photosynth. Res. 1986. V. 10. P. 51-62.
4. С. А. Кузнецова, А. К. Кукушкин, А. А. Белов (2001) Теоретическое исследование импульсного метода анализа тушения флуоресценции фотосистемы II // Биофизика, , том 46, вып. 1, с. 141-145
5. Караваев В. А., Кукушкин А. К. (1993) Теоретическая модель световых и темновых процессов фотосинтеза: проблема регуляции // Биофизика. Т. 38. С. 958-975

Спектральные компоненты биолюминесценции акворина и обелина

Алиева Роза Ришатовна

студент

Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

E-mail: aliewa_rosa@mail.ru

Биолюминесценция - это частный случай хемилюминесценции, катализируемый биологическими катализаторами – ферментами люциферазами. Важной группой биолюминесцентных реакций являются кальций-регулируемые реакции. Фермент-субстратные комплексы этих реакций принято называть фотопротеинами. Кальций-регулируемые реакции перспективны в качестве флуоресцентных меток в медицинских и биологических исследованиях, в качестве внутриклеточных индикаторов ионов Ca^{2+} .

Целью работы было изучение спектральных характеристик биолюминесцентной реакции акворина, выделенного из медузы *Aequorea victoria*, и сравнение полученных данных со спектральными характеристиками ранее изученной биолюминесцентной реакции обелина, выделенного из гидроидного полипа *Obelia longissima*. Известно, что спектры биолюминесценции кишечнорастворимых являются сложными, т. е. представляют собой суперпозицию нескольких спектров, каждый из которых можно соотнести с определенным излучателем со своей химической структурой. В ходе работы спектры биолюминесценции и фотолюминесценции продукта биолюминесцентной реакции акворина были разделены на отдельные спектральные составляющие, выделенные контуры были соотнесены различным формам целентирамида, в качестве эмиттеров.

В результате разделения спектра биолюминесценции акворина установлено, что данный спектр является суперпозицией трех излучателей, в то время как биолюминесценция обелина является суперпозицией четырех излучателей. Разделение спектра фотолюминесценции акворина показало, что данный спектр является суперпозицией двух излучателей, также как и спектр фотолюминесценции обелина. Положения максимумов соответствующих выделенных спектральных контуров (излучателей) близки, но вклады их различны.

Было проведено сопоставление спектральных составляющих биолюминесценции и фотолюминесценции акворина и обелина различным формам целентирамида. Контур I был приписан излучению неионизированной формы целентирамида. Контур II, III, IV приписаны излучению ионизированных форм целентирамида, которые образуются в результате переноса протона от фенольной группы целентирамида к аминокислоте активного центра фотопротеина. Результаты наших исследований указывают на существование трех ионизированных форм, которые вероятно различаются своей кислотностью в электронно-возбужденном состоянии, т.е. эффективным положением протона между фенольной группой и протонно-акцепторной группой аминокислотного окружения целентирамида.

Основываясь, на данных рентгенно-структурного анализа, различия в спектрах фотолюминесценции акворина и обелина могут быть объяснены различной протонно-донорной способностью аминокислотного окружения целентирамида в их активных центрах. Аминокислотные последовательности этих двух фотопротеинов гомологичны, состав и структура активных центров также сходна. Но в аминокислотном окружении целентирамида в акворине присутствует аминокислота тирозин, которая может являться дополнительным донором протона, по сравнению с обелином. Именно отсутствие дополнительного донора протона в активном центре обелина увеличивает кислотность фенольной группы целентирамида; в результате в спектре фотолюминесценции обелина присутствуют только ионизированные формы (нет перекрытия со спектром поглощения). В то же время дополнительный донор протона в акворине уменьшает кислотность фенольной группы, увеличивая вероятность испускания кванта света из протонированной формы.

Моделирование эффекта воздействия ионизирующего излучения с высокими значениями ЛПЭ на протекание реакции Белоусова-Жаботинского в капилляре.

Артамонов Дмитрий Николаевич¹

сотрудник

Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына

E-mail: artdmitrii@mail.ru

Как известно, явления, возникающие в ходе химических автоколебательных реакций, моделируют многие процессы самоорганизации, происходящие в живых системах. Они, по-видимому, являются существенной частью таких феноменов, как распространение мышечного сокращения, свёртывание крови, реакция гликолиза и т.д. Таким образом, подвергая внешнему воздействию гомогенную систему, в которой происходит химическая колебательная реакция, можно моделировать и в какой-то степени прогнозировать результат этого воздействия на биологические системы.

В настоящей работе рассматриваются особенности воздействия на реакцию Белоусова-Жаботинского (БЖ) [1] пучков заряженных частиц с высокими значениями линейной передачи энергии (ЛПЭ). Экспериментальные результаты сравниваются с модельными расчетами в рамках модифицированной модели радикалатора.

Наиболее часто используемые для описания реакции БЖ модели известны как орегонатор [2] и радикалатор [3]. Однако в данном случае эти модели недостаточны, т. к. не описывают взаимодействия реагирующих веществ с $\cdot\text{OH}$ - радикалом, возникающим после начала облучения в результате радиолиза воды. Поэтому модель радикалатора была модифицирована включением следующих реакций [4]: $\cdot\text{OH} + \text{BrMA} \rightarrow \text{BrMA}\cdot + \text{Prod.}$,
 $\text{BrMA}\cdot + \text{BrO}_3^- \rightarrow \text{HBrO}_2 + \text{Prod.}$

Показано, что эта модель позволяет получить такую зависимость концентрации компонентов системы в реакции БЖ от времени, которая дает скорости и период спонтанных и инициированных под воздействием излучения волн в согласии с экспериментом. Эта модификация модели позволила также получить качественно правильные значения поглощенной дозы порога инициации волны и порога полного гашения волн. В данной модели также предсказывается полное гашение колебаний при больших дозах облучения.

Экспериментальные исследования воздействия на реакцию типа БЖ пучков альфа- частиц с энергией 30.5 МэВ выполнялись на 120-см циклотроне НИИЯФ МГУ. При облучении раствора наблюдалось образование ведущего центра реакции. Данная картина наблюдалась при дозах от 80 Гр до 60 кГр и слабо зависела от интенсивности пучка. Были исследованы зависимости скоростей распространения фронта волны от времени.

Т.о. предложена модифицированная модель радикалатора, описывающая автоколебания под воздействием ионизирующего излучения.

Литература

1. Б.П.Белоусов, *Сборник рефератов по радиационной медицине*, 1958, 145.
2. R. J. Field, E. Korös and R. M. Noyes, *J. Am. Chem. Soc.*, 1972, **94**, 8649–8664.
3. Försterling H.D. and Noszticzius Z.J, *Phys. Chem.* 1989, **93**, 2740-274.
4. D. N. Artamonov, A. B. Priselkova, A. V. Spassky, and K. A. Trukhanov, *Proc. Summer School Nuclear Physics Methods in Biology and Medicine, Prague, Publ. AIP New York* 242-243 (2007).

¹ Автор выражает признательность д.т.н. Труханову К.А. за помощь в проведении экспериментов.

Увеличение оптической проницаемости крупных образцов миелинизированной нервной ткани²

Герус Марина Андреевна³*, Ефимова Ольга Игоревна**

*студент, **научный сотрудник

*МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия;

**ГУ НИИ нормальной физиологии им. П.К.Анохина, Москва, Россия

E-mail: marina_gerus@mail.ru

Введение

Современные методы трехмерной визуализации молекулярных маркеров в крупных образцах нервной ткани (оптическая проекционная томография (Sharpe et al., *Science*, 2002), ультрамикроскопия (Dodt et al., *Nature*, 2007)) ограничены в выборе модельных объектов - эмбрионы на ранних стадиях развития, полупрозрачные животные. Нервная система взрослого млекопитающего оптически непроницаема из-за высокого содержания и структурных особенностей миелина в зрелом мозге. Целью исследования была оптимизация оптического просветления изолированных структур головного мозга взрослых мышей (гиппокамп, обонятельные луковицы, неокортекс и мозжечок).

Методы

В работе использовали лабораторных мышей-самцов линии C57Bl/6 в возрасте 3-6 месяцев. Оптическую плотность структур мозга после ряда физико-химических обработок регистрировали в проходящем свете на микроскопе Leica M420 с CCD камерой Nikon DXM1200 и анализировали в программе Image-Pro Plus. Использовали просветляющие агенты с разными коэффициентами преломления: 75% водный раствор диатризоата (1.43), 1,3-пропандиол (1.44), 75% водный раствор иоталамата (1.44), глицерин (1.47), метил салицилат (1.53) и смесь бензил бензоат : бензиловый спирт 2 : 1 (1.55).

Результаты

Разработанные протоколы позволили снизить оптическую плотность на 72-86%. Наименьшие показатели оптической плотности имели образцы, дегидратированные 2-бутоксизтанолом, обесцвеченные раствором Дента и просветленные в смеси бензил бензоат: бензиловый спирт либо в водном растворе иоталамата. Показано, что просветляющий эффект не зависит напрямую от коэффициента преломления состава.

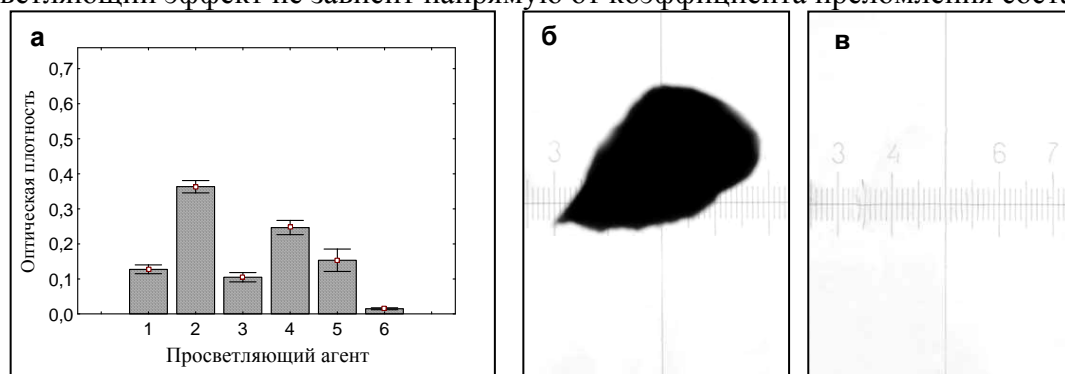


Рис.1. Зависимость оптической плотности от просветляющего агента (а): 1–диатризоат, 2–1,3-пропандиол, 3–иоталамат, 4–глицерин, 5–метил салицилат, 6–бензилбензоат:бензиловый спирт; микрофотографии обонятельной луковицы: до (б) и после (в) просветления (шкала находится под образцом).

Распределение молекулярных мишеней в оптически просветленных препаратах можно анализировать с помощью световой, флуоресцентной и конфокальной микроскопии.

² Работа выполнена при поддержке Министерства Образования и Науки Российской Федерации (госконтракт №02.522.11.2002) и Российского Фонда Фундаментальных Исследований (грант № 06-04-08353-офи).

³ Авторы выражают благодарность за научное руководство зав. лаб. нейробиологии памяти ГУ НИИ нормальной физиологии им П.К.Анохина, д.м.н., проф. К.В.Анохину и зав.каф. биофизики физфака МГУ, д.ф-м.н., проф. В.А.Твердислову.

Новые функциональные молекулярные наносистемы: гибридные везикулы на основе липидов и амфифильных полимеров

Годзи Максим Германович⁴

студент

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, физический факультет, –mail: mzx@mail.ru

На сегодняшний день одной из наиболее важных задач, нанотехнологических исследований является разработка эффективных технологий капсулирования и управляемой доставки различных веществ в биологических и других системах. Решение этой задачи позволило бы создать принципиально новые методы, востребованные в медицине, химической промышленности, сельском хозяйстве и других областях человеческой деятельности. Так, например, одной из важнейших проблем современной медицины является проблема управляемой доставки лекарственных веществ в заданную область организма, которая может являться небольшой группой нескольких клеток. Совершенно очевидно, что подобная проблема может быть решена только эффективными и точными нанотехнологическими методами. В качестве примера не менее актуальной проблемы можно привести потребность сельского хозяйства в новой технологии управляемой доставки удобрений к растениям. В формулировке данной проблемы под управлением понимается возможность регулирования временного интервала, в течении которого концентрация доставляемых веществ в определенной области системы будет поддерживаться на необходимом уровне. Эти и аналогичные задачи обуславливают возрастающий интерес к исследованиям в области создания различного рода наноконтейнеров для капсулирования и управляемой доставки различных веществ и изучения их физико-химических свойств.

Многолетние исследования в этой области привели к идее использования в качестве наноконтейнеров липосом. Такие нанокapsулы, обладая оболочкой из липидного бислоя, имеют прямое сходство с биологическими мембранными структурами, и это свойство делает их особенно привлекательными для использования в медицине и сельском хозяйстве. Возможность встраивать в липидную мембрану полимеры открывает широкие возможности для развития методов управления структурой мембраны, а также позволяет контролировать процессы взаимодействия липосом между собой и с компонентами окружающей среды.

В ходе нашей работы были получены новые гибридные молекулярные наносистемы - липосомы, мембраны которых состоят из липида фосфотидилхолина и амфифильного поликатиона поли-4-винилпиридина с 29% цетилпиридиниевых групп. Исследования показали, что включение такого полимера в состав оболочек липосом заметно увеличивает их стабильность и изменяет их форму. Эти эффекты напрямую связаны с отношением числа молекул фосфотидилхолина и полимера, встроенного в липидный бислой. Изменяя это процентное соотношение можно изменять форму липосом, их устойчивость и, как следствие, время высвобождения веществ, заключенных внутри липосом. Эксперименты показали, что существует некоторое критическое процентное соотношение между числом молекул липидов и полимера, при котором формирование стабильных гибридных везикул невозможно. Для понимания причин этого явления были проведены исследования лэнгмюровских монослоев и лэнгмюровских пленок, состав которых имел то же самое стехиометрическое процентное соотношение липид/полимер. Анализ результатов этих экспериментов и результаты измерений методом атомно-силовой микроскопии позволили соотнести все важные для последующих применений гибридных липосом свойства с относительным содержанием в них поли-4-винилпиридина. Таким образом, в результате проведенных экспериментов нами обоснованы возможности создания метода получения новых везикул на основе липосом с улучшенными свойствами (стабильность), основанного на включении в состав липосом определенных количеств амфифильного полимера.

⁴ Автор выражает глубокую признательность своему научному руководителю, профессору Хомутову Г.Б.

Диссоциативное присоединение электрона к $H_2PO_4^-$ с выделением атомарного водорода: моделирование процесса и расчёт энергий методом DFT.

Зубков Антон Станиславович⁵,

Студент;

Артюхов Василий Игоревич⁶,

Аспирант.

Институт биохимической физики РАН им. Н.М. Эмануэля, Москва, Россия.

E-mail: aszubkov@gmail.com

Перенос электрона – важный этап многих химических и биохимических реакций, так как образующиеся в данном процессе катионы и анионы являются гораздо лучшими окислителями и восстановителями, соответственно, нежели их нейтральные формы. Для выявления механизмов окислительно-восстановительных процессов, чрезвычайно важно установить их интермедиаты.

Нашей лабораторией в экспериментальных работах по изучению взаимодействия фосфата и низкоэнергетических (менее 4,5эВ) электронов различного происхождения (фотоэжектированного электрона и электрона донорно-акцепторного переноса) были получены спектры ЭПР атома водорода, указывающие на диссоциативный захват электрона по схеме $e^- + H_2PO_4^- \rightarrow [H_2PO_4^-]^\bullet \rightarrow H^\bullet + HPO_4^{2-}$.

Исследование влияния pH на эти спектры показало, что вне зависимости от природы флюорофоров в присутствии ортофосфата атомы водорода наблюдаются преимущественно в слабокислой области pH , близкой к pK_α , где сосредоточены моноанионы фосфата $H_2PO_4^-$. По-видимому, это обусловлено поляризацией связи $O-H$ вблизи значений pK_α . Действительно для оксикислот с pK_α в кислой (серная кислота – 2,8 и 1,92) или щелочной (борная кислота – 9,24; 12,74; 13,8; дианион фосфата HPO_4^{2-} – 12,68) областях атом водорода обнаруживается преимущественно в этих диапазонах pH .

Нами были рассчитаны адиабатическое и вертикальное сродство к электрону моноаниона фосфата ($H_2PO_4^-$). Также были найдены энергии реакций диссоциации с образованием протона или атомарного водорода для моноаниона фосфата с избыточным электроном и без него. Адиабатическое сродство к электрону (AEA) определялось как разница между полными энергиями моноаниона фосфата с избыточным электроном и без него при соответствующих оптимизированных конформациях молекул – $AEA = E_{neut} - E_{anion}$. Вертикальное сродство к электрону (VEA) определялось как энергия, необходимая для быстрого захвата электрона, то есть как разница между полными энергиями моноаниона фосфата, находящихся в конформации, соответствующей минимуму энергии молекулы $H_2PO_4^-$. Минимумы энергий молекул были рассчитаны методом DFT в программе Gaussian 03. Использовалось приближение B3LYP и базис aug-cc-VdZ.

Были получены следующие результаты: адиабатическое и вертикальное сродство к электрону оказались близки по значению и составили порядка -1эВ . Энергии диссоциации с образованием протона для моноаниона фосфата с избыточным электроном и без него также имели близкие значения около 13эВ . Присоединение электрона к моноаниону фосфата понижает энергию диссоциации с образованием атомарного водорода с величины порядка $4,7\text{эВ}$ для моноаниона фосфата до величины порядка $0,4\text{эВ}$ для моноаниона фосфата с избыточным электроном.

⁵ Научный руководитель – д.б.н. Неделина О.С.

⁶ Научный руководитель – д.ф.-м.н. Чернозатонский Л.А.

Изучение переходных процессов в математической модели фотосинтеза в диапазоне времён от 10пс до 100с

Киржанов Дмитрий Викторович⁷

аспирант кафедры биофизики

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова

e-mail kirzhanov@gmail.com

Построена математическая модель фотосинтеза высших растений, позволяющая проводить совместное рассмотрение поглощения света, миграции энергии, «разделения» зарядов с последующим линейным и циклическим транспортом электронов, а так же пентозофосфатного цикла. Такое рассмотрение затруднено вследствие существенного различия констант скоростей перечисленных процессов¹. В соответствии с современным представлением об устройстве фотосинтетического аппарата, характерные времена самых быстрых процессов, происходящих в антенных комплексах фотосистем и реакционных центрах составляют величины порядка 1пс и менее³. Самые медленные процессы имеют место при переносе электронов между фотосистемами, переносе электронов на NADP, а так же в цикле Кальвина. Их характерные времена могут достигать величин порядка 0,1с.

Задача описания столь существенно различающихся по скоростям процессов решена путём использования двух систем уравнений. Первая система уравнений записана для элементарных реакций и пригодна для теоретического исследования как быстрых, так и медленных процессов. Вследствие использования в ней существенно различных констант скоростей реакций её использование затруднительно на временах более 1мкс. Для исследования более медленных процессов используется вторая система уравнений с малыми параметрами², содержащая помимо дифференциальных и алгебраические уравнения. Введение малых параметров и алгебраических уравнений позволяет исключить из рассмотрения несколько дифференциальных уравнений и на 6 порядков увеличить шаг интегрирования.

Обе системы уравнений позволяют рассматривать одни и те же процессы, но происходящие на разных временах, что позволяет объединить их в единую модель.

В разработанной модели исследованы режимы, соответствующие кинетике индукции флуоресценции зелёного листа после темновой адаптации. Найдено соответствие между полученными режимами и некоторыми экспериментальными данными. В модели получена кинетика уменьшения интенсивности флуоресценции фотосистемы II после выключения света, состоящая из двух стадий: первая стадия длится около 10нс, вторая стадия длится порядка 2мс.

Литература

- 1 Лебедева Г.В., Н.Е. Беляева, Г.Ю. Ризниченко, А.Б. Рубин, О.В. Дёмин
Кинетическая модель фотосистемы II высших растений. Физ. химия. 2000. Т.74, 10, с.1897-1906.
- 2 Караваев В. А., Кукушкин А. К. Теоретическая модель световых и темновых процессов фотосинтеза: проблема регуляции// Биофизика. – 1993. – т. 38 ?6. – С. 958-975
- 3 Рубин А. Б., Кренделёва Т. Е. Регуляция первичных процессов фотосинтеза// Успехи биол. химии. – 2003. – т. 43. – С. 225-266

⁷ Автор выражает признательность профессору, д.ф.-м.н. А.К.Кукушкину за интересную тему работы и помощь в подготовке тезисов

Исследование рекомбинантных белков биолюминесцентной системы медузы *Clytia gregaria*

Коростилева Ксения Александровна,

Франк Людмила Алексеевна

студент

Сибирский Федеральный Университет, физический факультет, Красноярск, Россия

E-mail: kksua@rambler.ru

Биолюминесцентная система медузы *Clytia gregaria* состоит из двух белков: Ca^{2+} -регулируемого фотопротейна клитина и зеленого флуоресцентного белка (GFP).

Ca^{2+} -регулируемые фотопротейны – биолюминесцентные белки, ответственные за свечение многих морских кишечнорастных животных. Молекула фотопротейна представляет собой стабильный фермент-субстратный комплекс, состоящий из односубъединичного полипептида, субстрата целентеразина и кислорода. Последние образуют соединение 2-гидропероксицелентеразин, который прочно, но нековалентно связан с белком. В присутствии ионов Ca^{2+} происходит внутримолекулярная реакция декарбоксилирования, продуктами которой являются CO_2 , целентерамид и квант света $\lambda_{\text{max}} = 475 \text{ нм}$.

Молекула GFP имеет вид компактного бочонка с находящимся внутри хромофором. Масса клонированного из медузы *Clytia* GFP – 26,4 кДа (по сиквенсу), максимум флуоресценции $\lambda_{\text{max}} = 510 \text{ нм}$ ($\lambda_{\text{ex}} = 350 \text{ нм}$).

В лаборатории фотобиологии Института биофизики СО РАН были клонированы гены клитина и GFP биолюминесцентной системы медузы *Clytia gregaria*. Целью данной работы являлось получение соответствующих рекомбинантных белков в высокоочищенном виде, исследование их основных биохимических и биофизических свойств, а также их взаимодействия. Рекомбинантные клетки *E. coli*, экспрессирующие соответствующие целевые белки культивировали и дезинтегрировали ультразвуком. Апо-клитин выделяли из телец включений, активировали целентеразином. Сфолдингованный во время экспрессии GFP – выделяли из фракции растворимых белков. По данным электрофореза по Лэмбли, белки были выделены практически в индивидуальном состоянии.

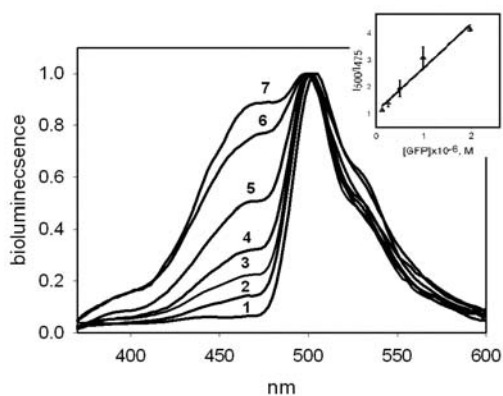
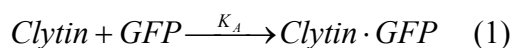


Рис.1. Нормированные спектры биолюминесценции смеси белков клитина и GFP при разных концентрациях: $[\text{Clytin}] = 4,3 \cdot 10^{-6} \text{ М}$, $[\text{GFP}]$: 1 – $1,97 \cdot 10^{-5} \text{ М}$, 2 – $3,94 \cdot 10^{-6} \text{ М}$, 3 – $1,97 \cdot 10^{-6} \text{ М}$, 4 – $9,825 \cdot 10^{-7} \text{ М}$, 5 – $4,963 \cdot 10^{-7} \text{ М}$, 6 – $2,46 \cdot 10^{-7} \text{ М}$, 7 – $1,23 \cdot 10^{-7} \text{ М}$. отношение $[\text{Clytin} \cdot \text{GFP}] / [\text{Clytin}]$ соответствует отношению интенсивности зеленой полосы биолюминесценции к синей I_{500} / I_{475} . Построив график зависимости I_{500} / I_{475} от концентрации GFP, определили константы ассоциации и диссоциации белок-белкового комплекса, как тангенс угла наклона и обратную величину: $k_A(\text{GFP}) = 1,64 \cdot 10^{-6} \text{ М}^{-1}$ и $k_D(\text{GFP}) = 6,09 \cdot 10^5 \text{ М}$.



$$[\text{Clytin} \cdot \text{GFP}] = K_A [\text{Clytin}] [\text{GFP}] \quad (2)$$

$$\frac{[\text{Clytin} \cdot \text{GFP}]}{[\text{Clytin}]} = K_A [\text{GFP}] \quad (3)$$

При запуске биолюминесцентной реакции клитина в присутствии GFP наблюдается, помимо сигнала в голубой области, появление сигнала в зеленой области (max 500 нм), интенсивность которого увеличивается при увеличении концентрации GFP. Эффект наблюдается в диапазоне концентраций $10^{-5} - 10^{-7} \text{ М}$, что позволяет объяснить наблюдаемое переизлучение наличием белок-белкового комплекса.

Взаимодействие белков можно описать простыми соотношениями (1), (2) и (3). Где

отношение $[\text{Clytin} \cdot \text{GFP}] / [\text{Clytin}]$ соответствует отношению интенсивности зеленой полосы биолюминесценции к синей I_{500} / I_{475} . Построив график зависимости I_{500} / I_{475} от концентрации GFP, определили константы ассоциации и диссоциации белок-белкового комплекса, как тангенс угла наклона и обратную величину: $k_A(\text{GFP}) = 1,64 \cdot 10^{-6} \text{ М}^{-1}$ и $k_D(\text{GFP}) = 6,09 \cdot 10^5 \text{ М}$.

Влияние одновалентных катионов на физико-химические свойства хиральных систем пониженной размерности

Малык Александра Павловна, Жаворонков Александр Александрович

студент

аспирант

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: yurova@phys.msu.ru

Исследовано влияние катионов калия и натрия на квазиравновесные термодинамические характеристики – изотермы сжатия – монослоев рацематов и одного из энантиомеров фосфолипидов, а также на перераспределение (фракционирование) энантиомеров в неравновесном поверхностном слое раствора неионного детергента при образовании пены. Показано, что физико-химические параметры хиральных систем существенно зависят от типа катиона и от его концентрации. Полученные результаты позволяют объяснить возникновение двух фундаментальных асимметрий в живой природе – ионной и хиральной – общими механизмами.

Получены изотермы сжатия монослоев фосфатидилхолина и фосфатидилэтаноламина, образованных L-энантиомерами и рацемическими смесями этих липидов при различных концентрациях солей хлорида натрия и хлорида калия в водной фазе. При использовании рацемических смесей липидов увеличивается максимально достигаемое давление монослоя во всех рассмотренных случаях, что указывает на большую пластичность монослоев рацематов по сравнению с монослоями чистых энантиомеров. В рацемической смеси фосфатидилэтаноламина при получении монослоев на чистой водной субфазе возникает новое фазовое состояние монослоя по сравнению с монослоем чистого энантиомера, что свидетельствует об изменении его структуры. В присутствии ионов натрия и калия в водной фазе в концентрации 0,1 М уменьшается влияние хиральности липидных молекул фосфатидилхолина на термодинамическое состояние и структуру монослоя. Ослабление влияния хиральности липидных молекул фосфатидилэтаноламина наблюдается при высоких (1 М) концентрациях солей. Оно сильнее выражено для ионов калия, чем для ионов натрия. В этих условиях также уменьшается стабильность монослоя фосфатидилэтаноламина. Добавление ионов калия, в отличие от ионов натрия, вызывает увеличение площади, приходящейся на молекулу в монослое фосфатидилэтаноламина. Поверхностное давления монослоев исследованных липидов на поверхности растворов, содержащих ионы калия, во всех рассмотренных случаях выше, чем давление на поверхности растворов, содержащих ионы натрия.

На неравновесной границе раздела «раствор-воздух» происходит перераспределение компонентов раствора, сопровождающееся фракционированием стереоизомеров лейцина, с преимущественным накоплением L-изомера аминокислоты в тонком поверхностном слое раствора. Фракционирование энантиомеров лейцина в тонком поверхностном слое зависит от солевого состава раствора: оно существенно выше в присутствии ионов калия, чем в присутствии ионов натрия. Максимальное фракционирование в обоих случаях наблюдается в области температур 26–27 °С, соответствующей разности температур между раствором и воздухом около 8 °С.

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ИМПУЛЬСА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭЛЕКТРОПОРАЦИИ БИОМЕМБРАН

Мартинович Милан, магистрант

*Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, кафедра биофизики
физического факультета, Москва, Россия
E-mail: milanmart@gmail.com*

Электропорация или обратимый диэлектрический пробой клеточной мембраны – это образование временных проводящих гидрофильных пор в мембране под действием внешнего электрического импульса. В настоящее время электропорация применяется в трансгенной терапии *in vivo*; в электрохимиотерапии для доставки лекарств в ткань или орган; в ионтофорезе для подкожного введения лекарств; для трансфекции клеток; а также для слияния клеток. Принцип работы известных на сегодняшний день электропораторов основан на накоплении заряда на конденсаторе с последующим разрядом конденсатора через биологическую нагрузку (клетку, орган или ткань). Недостатком таких электропораторов является ограниченный выбор форм импульса (только прямоугольные и экспоненциальные). Для лучшего понимания процессов электропорации и для получения более эффективных форм импульсов, нами были проведены исследования электропорации клеток электрическими импульсами разной формы. Целью данной работы является изучение влияния формы и крутизны фронта электрических импульсов на эффективность электропорации.

Электропорация исследовалась на гигантских клетках зелёных водорослей *Chara Corallina* с использованием четырёхэлектродного метода фиксации потенциала (voltage-clamp). В качестве генератора импульсов программируемой формы был использован DPS генератор импульсов разработанный на кафедре биофизики, позволяющий генерировать импульсы с крутизной фронта 1 В/нс. Были использованы прямоугольный, экспоненциально-спадающий, экспоненциально-нарастающий, линейно-спадающий, линейно-нарастающий, синусоидально-спадающий, синусоидально-нарастающий, треугольный импульсы и комбинации прямоугольного, линейно-спадающего и линейно-нарастающего импульсов. Измерения делались только на тех клетках, у которых полностью восстанавливался трансмембранный ток после электропорационного импульса. Для каждого процесса электропорации вычислялся средний трансмембранный ток на фиксированном интервале времени и характерное время восстановления пор. Значения трансмембранных токов нормировались на диаметр клетки и на заряд импульса (в ходе работы показано, что ток через электропорационные поры пропорционален заряду импульса). Сравнения делались только для клеток с одинаковым потенциалом фиксации.

Обнаружено, что время жизни электропорационных пор и ток насыщения через поры зависят от соотношения длины импульса и времени диэлектрической релаксации мембраны. Для импульсов с длительностью меньше времени диэлектрической релаксации мембраны, время жизни электропорационных пор составляет 3 – 5 сек и ток насыщения 2,2 мкА, а для импульсов с длительностью много больше времени диэлектрической релаксации мембраны время жизни пор составляет 0,7 – 1,5 сек и ток насыщения 0,8 мкА.

По величине электропорационного тока определены и сопоставлены эффективности электропорации для разных форм электрических импульсов. Получены различные эффективности разных форм импульсов в зависимости от длительности импульсов:

1) В случае, когда длительность импульсов меньше времени диэлектрической релаксации мембраны, самым эффективным является импульс трапецевидной формы, у которого длительность линейно-нарастающей части больше длительности линейно-спадающей части. Нарастающие импульсы более эффективны, чем спадающие и треугольные, но менее эффективны, чем прямоугольные импульсы. Обнаружены

характерные времена в районе 10 – 15 мкс с использованием биполярного и двойного прямоугольных импульсов.

2) В случае, когда длительность импульсов больше времени диэлектрической релаксации мембраны, самым эффективным является импульс биполярной прямоугольной формы. При времени задержки в биполярном импульсе больше характерной длительности 300 мкс, его эффективность становится меньше эффективности прямоугольного импульса. Спадающие импульсы более эффективны, чем нарастающие и треугольные, но менее эффективны, чем прямоугольные импульсы.

Полученные результаты позволяют оптимизировать протоколы электропорации, и указывают на необходимость различать протоколы с длинными (длительность импульсов больше времени диэлектрической релаксации мембраны) и короткими (длительность импульсов меньше времени диэлектрической релаксации мембраны) импульсами. Полученные характерные времена помогут лучше понять релаксационные процессы в клеточных мембранах. Используемые в работе формы импульсов не исчерпывают возможные формы, и в дальнейшем планируется исследовать другие формы импульсов.

Спектральные исследования взаимодействия полициклических ароматических углеводов с комплексом белок – липид⁸

Лось Екатерина Викторовна¹, Мельников Андрей Геннадьевич², Кулик Алексей Анатольевич¹

студент, студент, студент

¹*Саратовский государственный технический университет, факультет электронной техники*

²*Саратовский государственный университет, физический факультет*

E-mail: melnik@mail.saratov.ru

В работе исследованы взаимодействия известных канцерогенов – полициклических ароматических углеводов (ПАУ) с комплексом белок–липид. В качестве липида нами был использован фосфатидилхолин. Нами получены спектры флуоресценции пирена, 1,2 бензантрацена и антрацена в сывороточном альбумине человека (САЧ), фосфатидилхолине и их смеси. Процессы взаимодействия ПАУ с белками и липидами изучались по изменениям вибронной структуры спектров флуоресценции ПАУ. Для характеристики изменений в микроокружении молекул люминесцентного зонда – пирена нами введен индекс полярности, который определялся по отношению интенсивностей первого ($\lambda=373$ нм) к третьему ($\lambda=383$ нм) максимуму в спектре флуоресценции пирена.

Нами обнаружено возрастание интенсивности флуоресценции люминесцентных зондов - ПАУ при увеличении содержания фосфатидилхолина в буферном растворе САЧ. Предположено, что это связано с образованием комплекса белок–фосфатидилхолин, в котором уменьшается содержание молекул воды в ближайшем микроокружении ПАУ. Возрастание интенсивности ПАУ можно объяснить тем, что в комплексе белок–фосфатидилхолин возможно уменьшение подвижности молекул ПАУ. При увеличении содержания фосфатидилхолина выше 1,8 мг/мл наблюдается уменьшение интенсивности ПАУ и индекса полярности пирена, что может быть связано с увеличением содержания молекул фосфатидилхолина в микроокружении пирена. Возможно также, что при увеличении содержания фосфатидилхолина образуются мицеллоподобные агрегаты из молекул фосфатидилхолина, в которых сольбилизируются молекулы пирена перешедшие из белков. Поскольку фосфатидилхолин является менее полярным, чем белки, индекс полярности пирена, в микроокружении которого находится фосфатидилхолин, уменьшается.

При добавлении САЧ в водный раствор фосфатидилхолина наблюдалось возрастание интенсивности флуоресценции ПАУ. Это можно объяснить уменьшением подвижности ПАУ в мицелле фосфатидилхолина, связанной с белками. Индекс полярности пирена практически не изменяется при увеличении САЧ в растворе фосфатидилхолина. Таким образом, в этих системах микроокружение молекул пирена не изменяется. Следовательно, ПАУ не выходят из мицелл фосфатидилхолина в глобулу белка.

Нами проведены исследования процессов тушения флуоресценции пирена в комплексе белок-фосфатидилхолин нитратом таллия. Установлено, что константа тушения уменьшается при добавлении фосфатидилхолина в буферный раствор САЧ. Показано, что это связано с изменением места локализации пирена.

⁸ Тезисы доклада основаны на материалах исследований, проведенных в рамках гранта Российского Фонда Фундаментальных Исследований (грант 06-04-81006-Бел_a).

Методика приготовления пленок из растворов биологических макромолекул для изучения влияния на них терагерцового излучения

Немова Евгения Федоровна

Младший научный сотрудник

Институт Лазерной Физики СО РАН, Новосибирск, Россия

E-mail: endy@nsu.ru

Для проведения экспериментов с биологическими объектами необходимо учитывать особенности исследуемых объектов: к ним не применимы химические методы, их нельзя подвергать тряске, нагревать, замораживать, прессовать, измельчать, потому что вследствие этих действий белок может денатурировать, разложиться, клетка - погибнуть и пр. Это затрудняет и значительно сужает круг применимых методов воздействия и регистрации изменений. Широко распространены неразрушающие методы - ИК и УФ спектроскопия, круговой дихроизм, флюоресцентные методы. Все они хорошо опробованы и успешно применяются для растворов, но терагерцовое излучение поглощается водой и не оказывает влияния на изучаемые объекты, что и было показано экспериментально. При исследовании же лиофилизированных препаратов существующие методы дают большую погрешность и низкую воспроизводимость от образца к образцу. Автором была опробована и отработана методика получения пленки из растворов биологических макромолекул, таких, как бычий сывороточный альбумин (БСА), дезоксирибонуклеиновая кислота (ДНК). Пленки получаются при высушивании раствора альбумина на кварцевой подложке в потоке воздуха при комнатной температуре. Концентрация раствора альбумина в первоначальном растворе 1 мг на 1 мл. Каплю раствора объемом 50 мкл наносят пипеткой на кварцевую подложку и распределяют кварцевым покровным стеклом по всей поверхности подложки. Высушивание происходит в течение 20-25 минут. Все дальнейшие исследования (спектроскопические, флюоресцентные) производятся с полученной пленкой, что позволяет уменьшить количество манипуляций с образцом, улучшить воспроизводимость спектров (при условии получения стабильной пленки), тем самым уменьшается количество параметров, за которыми необходимо следить во время эксперимента. Порошкообразные образцы нельзя встряхивать или переворачивать, нужно следить за температурой и влажностью, в то время как для переноса пленки существует лишь ограничение по силе нагрузки, чтобы не повредить кварцевую подложку. Выбор кристаллического кварца в качестве подложки был обусловлен тем, что необходим был материал, прозрачный и в терагерцовом, и в ИК, и в УФ диапазоне. В работе приведены сравнительные спектры для растворов, лиофилизированных препаратов и для пленок, облученных одним и тем же излучением (15мВт, 81,5мкм). Было показано, что макромолекулы после применения описанной методики сохраняют присущую им биологическую активность, а это дает основания считать предлагаемую методику неразрушающей и соответствующей неразрушающим методам дальнейшего исследования образцов.

1. Н.Д.Девятков, М.Б.Голант, О.В.Бецкий. Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности. М. Радио и связь. 1991.

2. Труды международного симпозиума «Миллиметровые волны нетепловой интенсивности в медицине», 3-6 октября 1991. м.: ИРЭ АН СССР, 1991, ч.1, 2, 3.

3. В.В.Новиков, В.В.Кувичкин, Е.Е.Фесенко, Влияние слабых комбинированного постоянного и переменного низкочастотного магнитных полей на собственную флуоресценцию ряда белков в водных растворах. Биофизика, 1999, т. 44, вып. 2, с.224-230.

4. В.И.Федоров, С.С.Попова. Субмиллиметровый диапазон ЭМ волн и реакция на него биологических систем разных уровней организации. Биофизика, 2001, № 24.

Локальная структура полипептидных цепей и рацемизация аспартата в белках

Поволоцкая Инна Сергеевна (студент), Жаворонков Александр Александрович (аспирант),

Твердислов Всеволод Александрович (профессор)

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: ipovolotskaya@mail.ru

В процессе рибосомального синтеза в природной клетке участвуют только L-аминокислоты, однако, с возрастом в клетках происходит увеличение концентрации D-аминокислот, входящих в состав белков. Накапливание D-аминокислот в процессе старения в определенных белках сопряжено с развитием некоторых возрастных патологий [1]. Наиболее подверженными рацемизации аминокислотными остатками являются аспарагин и аспарагиновая кислота (Asx). D-аспарагиновая кислота накапливается в организме как при непосредственном переходе L-аспартата в D-форму, так и в результате потери L-аспарагином аминогруппы. Оба эти процесса происходят через формирование сукцинимид-посредника [2]. Скорость рацемизации Asx зависит от окружающих аминокислотных остатков в первичной структуре [3–4], от положения Asx во вторичной структуре [5], от пространственного положения, опосредованного третичной структурой. Так, во многих случаях образование сукцинимида происходит на терминальных концах белков, в открытых регионах на поверхности белков, а также на изгибах белковых цепей [6].

В настоящей работе мы провели сравнительный анализ частот встречаемости аминокислот в соседних с Asx позициях трипептидов и пентапептидов аминокислотных последовательностей белков, в которых остатки Asx подвержены рацемизации, и этих же частот встречаемости в белках, в которых рацемизация Asx не наблюдается, в соответствие с положением Asx во вторичной структуре белка, а также без учета положения во вторичной структуре.

Анализ показал, что свойства белков, в которых остатки Asx подвержены рацемизации, несколько отличаются от свойств белков, в которых рацемизация Asx не наблюдается: частота встречаемости глицина в соседних с Asx позициях в первичной структуре белков, в которых наблюдается рацемизация Asx, выше относительно всего пула исследуемых белков, а также в некоторых белках, области, подверженные рацемизации несут отрицательный заряд. Помимо этого, частоты встречаемости аминокислот в соседних с Asx позициях и, как следствие, скорость рацемизации Asx, зависят от вторичной структуры белка, и, таким образом, уменьшение вероятности рацемизации Asx, располагающегося в α -спиралях и β -листах опосредовано не только конфигурацией этих структур, но и аминокислотной последовательностью.

Подобный анализ осуществлен впервые: ранее проводились исследования только на искусственно синтезированных пептидах, а также исследования свойств отдельных подверженных рацемизации белков. Мы обозначили некоторый круг закономерностей, справедливых для белков, в которых наблюдается рацемизация, что позволяет в дальнейшем попытаться предсказать, какие белки и какие участки этих белков в наибольшей степени подвержены рацемизации.

Литература

- 1) *Твердислов В. А., Яковенко Л. В., Дмитриев А. В. и др.* Происхождение предшественников живой клетки. О двух фундаментальных асимметриях – ионной и хиральной. М., 2007.
- 2) *McCudden C.R., Kraus V.B.* // *Clinical Biochemistry*. 2006. **39**. P. 1112.
- 3) *Capasso S.* // *J. Peptide Res.* 2000. **55**. P. 224.
- 4) *Robinson N.E., Robinson Z.W., Robinson B.R. et al.* // *J. Peptide Res.* 2004. **63**. P. 426.
- 5) *Kuge K., Brack A., Fujii N.* // *Chemistry*. 2007. 13, N 19. P. 5617.
- 6) *Ritz-Timme S., Collins M.J.* // *Ageing Research Reviews*. 2002. **1**. P. 43.

Влияние формы и геометрии системы на нелинейную динамику малой однородно намагниченной микрогранулы в работе биочипа

Вагин Дмитрий Вениаминович

аспирант

Поляков Олег Петрович

ассистент

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: vagin@gen5521.phys.msu.ru

Исследование ансамблей магнитных частиц малых размеров входит в число важнейших направлений современной физики. Это связано с бурным развитием нанотехнологий, позволяющих конструировать буквально из отдельных атомов малые частицы (субмикронных и наноразмеров) с заданными свойствами [1,2]. Перспективным применением магнитных микрочастиц является их использование в качестве гранул в работе биочипов [3,4]. Принципы действия биосенсора подробно описаны в [4]. Разработан метод, при котором магнитные гранулы используются для обнаружения и характеристики одновременно многих индивидуальных биомолекулярных взаимодействий. Подобно соединению подложки и наконечника в атомном силовом микроскопе, в данном методе молекула ДНК (или антиген) соединяет подложку и магнитную гранулу. Позволяя водной суспензии расположить образованные магнитные гранулы на подложке, среди тысяч гранул часть из них связывается с подложкой с каждой единственной молекулой. Тогда внешний магнит, воздействуя на все гранулы, удаляет несвязанные, а число тех, которые остаются на подложке, измеряется оптическим или магнитным способом. Таким образом, применение управляемых магнитных сил позволяет удалять гранулы с подложки. Если случайная адгезия минимизирована очисткой поверхности, приложенная на гранулу сила ~ 1 пН за 5-10 с удаляет 99 ± 1 % несвязанных гранул с подложки в отсутствие антител или комплементарной последовательности ДНК. Этот уровень силы не нарушается гранулами, связанными через межмолекулярные исследуемые соединения. Таким образом, нам необходимо обеспечить должный отклик магнитных микрогранул на возмущение внешнего поля.

В данной работе исследовались особенности нелинейной динамики однородно намагниченной малой частицы в зависимости от ее формы и геометрии системы в рамках классической теории микромагнетизма Ландау-Лифшица-Гильберта [1]. Рассматривалась частица произвольной формы при наличии в ней одноосной магнитной анизотропии, находящейся под воздействием внешнего магнитного поля, имеющего как переменную, так и постоянную составляющие. Направим декартовы оси координат вдаль главных осей тензора размагничивающих коэффициентов исследуемой частицы, и рассмотрим случай, когда ось легкого намагничивания (ОЛН) магнитной анизотропии лежит в плоскости (zOy) и составляет угол ψ с координатной осью Oz . Пусть переменная составляющая магнитного поля изменяется по синусоидальному закону вдоль оси Oz , а постоянная составляющая направлена перпендикулярно (вдоль оси Oy). Ограниченные размеры частиц приводят к возникновению дополнительного слагаемого в магнитной энергии, которая в случае однородно намагниченной частицы выражается через размагничивающие коэффициенты: N_x, N_y, N_z [1,6]. Для сферических координат Θ и φ вектора намагниченности \vec{M} можно получить систему дифференциальных уравнений (1). Анализ системы уравнений (1) показал, что при определенных значениях управляющих параметров и начальных условий решение уравнений на фазовой плоскости стремится к регулярной динамической структуре, определяющей некоторое магнитное упорядочение. При изменении управляющих параметров это упорядочение может либо разрушиться и образовать иную устойчивую структуру, либо привести к хаотизации системы. Используя терминологию синергетики, можно сказать, что при определенных значениях управляющих параметров эволюция системы в фазовом

пространстве стремится к некоторой предельной замкнутой траектории (аттрактору). При изменении управляющих параметров может произойти бифуркация от одного типа аттрактора к другому или к хаотическому движению, когда динамическая траектория будет проходить случайным образом по некоторой области фазового пространства. Важную роль в установлении таких режимов играют размагничивающие поля, обусловленные геометрией системы. Динамика вектора намагниченности в системах несферической формы имеет целый ряд существенных особенностей, приводящих к новым нелинейным эффектам.

$$\begin{cases} \frac{d\Theta}{d\tau} = p_y \cos \varphi + \alpha p_K (\sin \psi \cos \Theta \sin \varphi - \sin \Theta \cos \psi) (\sin \psi \sin \Theta \sin \varphi + \cos \Theta \cos \psi) + \\ + p_K \sin \psi \cos \varphi (\sin \psi \sin \Theta \sin \varphi + \cos \Theta \cos \psi) + \alpha p_y \cos \Theta \sin \varphi - \alpha p_z \sin \tau \sin \Theta - \\ - p_m ((N_y - N_x) \sin \Theta \sin(2\varphi) + \alpha \sin \Theta \cos \Theta \{3(N_y + N_x) - 2 + (N_x - N_y) \cos(2\varphi)\}) \\ \frac{d\varphi}{d\tau} = \frac{1}{\sin \Theta} (p_z \sin \tau \sin \Theta - p_y \sin \varphi \cos \Theta + \alpha p_K \sin \psi \cos \varphi (\sin \psi \sin \Theta \sin \varphi + \cos \Theta \cos \psi) - \\ - p_K (\sin \psi \cos \Theta \sin \varphi - \sin \Theta \cos \psi) (\sin \psi \sin \Theta \sin \varphi + \cos \Theta \cos \psi) + \alpha p_y \cos \varphi - \\ - p_m (\alpha (N_y - N_x) \sin \Theta \sin(2\varphi) + \sin \Theta \cos \Theta \{3(N_y + N_x) - 2 + (N_x - N_y) \cos(2\varphi)\}) \end{cases} \quad (1)$$

Результаты работы полностью согласуются с ранее установленными в случае формы образца близкой к сферической. Однако, показано, что пренебрежение влиянием размагничивающих полей приводит к ошибочным результатам предсказания динамики системы. Установлено, что в зависимости от геометрии может преобладать как детерминированная динамика, так и хаотическая, причём, переход между различными её режимами может быть осуществлен путём изменения конфигурации системы. Выявлены области хаотических режимов и показано, что наблюдается установление хаоса через перемежаемость. Исследованы предельные случаи поведения системы (большие значения намагниченности) и показано, что в зависимости от формы образца может возникать или не возникать нелинейная динамическая поляризация. Необходимо отметить также, что в данной работе представлен принципиально новый способ управления хаотической динамикой вектора намагниченности с помощью изменения конфигурации системы и формы самого образца. В том числе обнаружены такие конфигурации, при которых происходит полное подавление хаоса в системе. Представленные результаты могут послужить базисом для быстрого и правильного произведения расчётов динамики вектора намагниченности в системах сложной конфигурации.

Литература

1. Вагин Д.В., Поляков О.П. Особенности нелинейной динамики однородно намагниченной малой частицы с учётом её формы // *Нелинейный мир*. — 2007. — Т.5. №10-11. — С. 369-374.
2. Звездин А.К. Магнитные молекулы и квантовая механика//*Природа*. 2000. №12.
3. Miller M.M., Prinz G.A., Cheng S.F., Bounnar S. Detection of a micron-sized magnetic sphere using a ring-shaped anisotropic magnetoresistance-based sensor: A model for a magnetoresistance-based biosensor // *Appl. Phys. Lett.* 2002. V.81. N.12. P.221–2213.
4. Н.П. Васильева, М.А. Владимирский, С.И. Касаткин Магниторезистивный биосенсор для обнаружения болезнетворных агентов // *Датчики и системы*. 2002.
5. Giorgio Bertotti, Claudio Serpico, Isaak D. Mayergoyz Nonlinear magnetization dynamic under circularly polarized field.// *Phys. Rev. Lett.* 2001. V.86. №4. p.724-727.
6. Вагин Д. В., Поляков О.П. Влияние формы образца на особенности нелинейной динамики вектора намагниченности во внешнем магнитном поле. // *Сборник статей по материалам Международной конференции «Радиолокация и связь» (9-11 ноября 2007 г., Фирсановка, Московская обл.)*. — М.: изд-во МЭИ, 2007. — С. 134-147.

Детоксикация фенолов гуминовыми веществами. Биоломинесцентный мониторинг

Тарасова Анна Сергеевна

студент

Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

E-mail: as421@yandex.ru

В последние годы рост загрязнения окружающей среды ставит перед учеными задачу поиска новых способов детоксикации вредных соединений. Одним из способов снижения токсичности поллютантов является применение гуминовых веществ (ГВ) – продуктов разложения органической массы в почве. В природных условиях детоксикация ГВ-ами происходит в присутствии света видимого и УФ диапазонов, поэтому изучение фотоиндуцированной детоксикации поллютантов в присутствии и отсутствии ГВ является актуальным.

В настоящее время для экологического мониторинга природных водоемов широко используются биоломинесцентные системы, основанные на использовании светящихся бактерий или выделенных из них ферментативных систем. Принцип их использования основан на корреляции между интенсивностью биоломинесценции и токсичностью среды. Один из механизмов действия поллютантов на биологические системы - влияние на редокс процессы.

Фенольные соединения среди компонентов сточных вод занимают одно из первых мест по распространению и вредному воздействию. Продукты их окисления – хиноны - гораздо более токсичны, чем соответствующие фенолы (дигидробензолы).

Целью работы являлось изучение эффективности детоксикации растворов гомологичных органических восстановителей ГВ-ами, УФ-облучением и комбинацией этих факторов с использованием тестовой биоломинесцентной ферментативной системы. Изменение состава раствора при УФ-облучении регистрировали с помощью спектров поглощения. В качестве органических восстановителей выбраны гомологичный ряд 1,4-фенолов. Проводили сравнения с результатами детоксикации соответствующих 1,4-хинонов (Fedorova et al., 2007). Соединения и соответствующие им стандартные редокс-потенциалы пары хинон-фенол (E^0) перечислены в таблице:

Коэффициент детоксикации (К)				E^0 , В
Хиноны (Fedorova et al., 2007)		Фенолы		
2,3,5,6-тетрафтор-1,4-бензохинон	1,7	1,4-дигидрокси-2,3,5,6-тетрафторбензол	1,0	0,8
1,4-бензохинон	1,4	1,4-гидроксибензол	1,2	0,7
1,4-нафтохинон	1,0	1,4-гидрокси-нафталин	2,1	0,5

Рассчитывали коэффициенты детоксикации (К) при воздействии на растворы фенолов ГВ, УФ-облучения или их комбинированного действия. Из таблицы видно, что как в ряду фенолов, так и в ряду хинонов величины К связаны с E^0 . Это указывает на то, что ГВ характеризуются как восстановительной (антиоксидантной), так и окислительной активностью в растворах органических окислителей и восстановителей соответственно.

Воздействие на растворы хинонов и фенолов УФ-облучения и комбинированного действия ГВ и УФ-облучения показало: (а) при УФ-облучении наблюдалась детоксикация растворов фенолов (величины К больше единицы). Спектры поглощения до и после облучения подтверждают количественное изменение состава растворов; (б) комбинированное действие двух факторов (УФ-облучения и обработки ГВ-ами) на растворы фенолов не показало однозначного результата: для различных фенолов получены величины К как больше, так и меньше единицы, что указывает на различные эффекты - как детоксикацию, так и увеличение токсичности растворов. Такой результат связан со сложностью процессов фотоиндуцированного воздействия на растворы фенолов в присутствии ГВ.

Монослойные наноструктурированные комплексы ДНК с амфифильными соединениями и наночастицами оксида железа

Черничко Дмитрий Иванович

аспирант

Институт Общей и Неорганической Химии РАН, Москва, Россия

E-mail: c.d.i.science@mail.ru

Хомутов Геннадий Борисович

д.ф.-м.н., доцент

Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: gbk@phys.msu.ru

Получение и исследование организованных наноструктур, включающих биологические и синтетические нано-компоненты, актуально для выяснения фундаментальных структурно-функциональных взаимосвязей на нано-уровне в биологических системах и важно для био-медицинских применений [1]. В данном сообщении представлены результаты работ по получению и характеристике новых организованных наноструктур на основе монослойных комплексов ДНК.

Нами исследованы процессы формирования наночастиц оксида железа в комплексах ДНК в реакциях с участием реагентов только биологической природы (ферритина в качестве источника ионов железа, аскорбиновой кислоты в качестве восстановителя) в водной фазе нормальных условиях. Имобилизацию молекул ДНК на поверхности подложек проводили путем связывания нативных молекул ДНК с ленгмюровским монослоем водонерастворимого амфифильного инеркалятора N,N'-диоктадецилоксакарбоцианин-4-толилсульфонат на поверхности водного раствора ДНК и последующего переноса монослоя на подложку методом Ленгмюра-Блоджетт (ЛБ) [2]. Имобилизованные комплексы ДНК/интеркалятора инкубировались в водном растворе ферритина, а затем, после промывки в чистой воде, помещались в раствор восстановителя (аскорбиновой кислоты). В результате образовывались неорганические наночастицы, представленные на рис.1 и характеризующиеся широкой дисперсией их размеров (результаты численного анализа распределения наночастиц по размерам указывают на вариации размера от 1 до 15 нм) и выраженной кристаллической структурой. Картина электронной дифракции, измеренная на полученных образцах характерна для поликристаллической структуры наночастиц магнетита и указывает на высокую степень кристалличности синтезированных частиц в отличие от молекул ферритина. На рис.1 видны организованные квазилинейные цепочечные структуры небольших (~2 нм) наночастиц, которые могут являться результатом связывания наночастиц магнетита с линейными молекулами ДНК. Полученные результаты демонстрируют возможности синтеза организованных наноструктур на основе комплексов ДНК и могут иметь непосредственное отношение к процессам биоминерализации и метаболизма железа в живых системах.

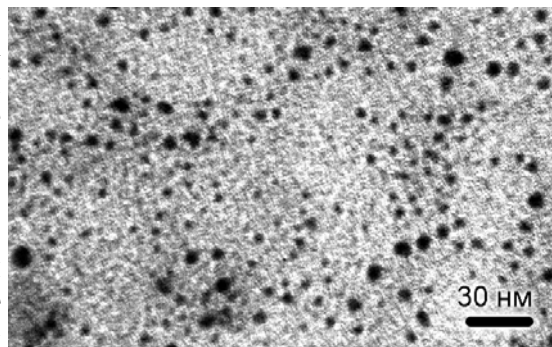


Рисунок 1: Наночастицы оксида железа. Синтезированы инкубацией в растворе ферритина монослойных комплексов с ДНК с последующим восстановлением в аскорбиновой кислоте.

Литература

1. Giersig M., Khomutov G.B., (Editors.), Nanomaterials for application in medicine and biology, Springer, Dordrecht, The Netherlands, 2008, 188p.
2. Khomutov G.B., Interfacially formed organized planar inorganic, polymeric and composite nanostructures, Adv. Colloid Interface Sci., 2004, v.111, p.79-116.

К теории хаотических рэтчетов Янакидис Харис Валерисович⁹

студент

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: harris@list.ru

В последние несколько лет заметно вырос интерес к классу физических моделей называемых рэтчетами [1] (в переводе с английского рэтчет (ratchet) – храповик). Внимание к этим моделям изначально было вызвано тем, что уравнение рэтчета в простейшем приближении может описывать движение линейных молекулярных моторов [2]. Существуют и другие физические объекты, описание которых с помощью моделей рэтчетов является эффективным (например, холодные атомы в оптических решетках [3]).

В современной литературе рэтчеты описываются, в основном, моделями с уравнением движения

$$m\ddot{x} + \gamma\dot{x} = f(x) + F(t), \quad (1)$$

которые описывают одномерное движение частицы массы m в поле статической потенциальной силы

$$f(x) = - \frac{dU(x)}{dx}, \quad (2)$$

создаваемой периодическим по координате с периодом a потенциалом $\{ \text{при всех } x \ U(x+a) = U(x) \}$ и однородной по пространству переменной силы $F(t)$. Главной особенностью этих моделей является то, что под воздействием внешней силы $F(t)$, среднее значение которой за период равно $\overline{F(t)} = 0$, у модели возникает выделенное направление движения. То есть частица, описываемая уравнением движения (1), движется в среднем однонаправлено. В зависимости от вида $f(x)$, $F(t)$ и величины γ рэтчеты разделяют на различные виды.

Объектом исследований служила модель рэтчета с $U(x) = - (\sin(x) + m\sin(2x))$ и внешним регулярным воздействием $F(t) = A\sin \omega t$ [4-5]. Нас интересовала область хаотического движения рэтчета. В ходе компьютерных расчетов было обнаружено явление инверсии скорости дрейфа – изменение знака средней скорости постоянного движения – в хаотической области, а также исследован механизм лежащий в основе этого явления. Показано, что малая величина, A равно и перемена знака скорости дрейфа связаны с тонким балансом положительного и отрицательного перемещений за один период поля, определяемым деталями структуры странного аттрактора.

Литература

1. Magnasco M. O. (1993) Forced thermal ratchets. Phys. Rev. Lett. **71**, p. 1477-1481.
2. Astumian R. D. and Bier M. (1994) Fluctuation driven ratchets: Molecular motors. Phys. Rev. Lett. **72**, p. 1766-1769.
3. Monteiro T. S., Dando P. A., Hutchings N. A. C., and Isherwood M. R. (2002) Proposal for a Chaotic Ratchet Using Cold Atoms in Optical Lattices. Phys. Rev. Lett. **89**, 194102 [4 pages].
4. Mateos J. L. (2000) Chaotic Transport and Current Reversal in Deterministic Ratchets. Phys. Rev. Lett. **84**, p. 258-261.
5. Barbi M. and Salerno M. (2000) Phase locking effect and current reversals in deterministic underdamped ratchets. Phys. Rev. E **62**, p. 1988 - 1994

⁹ Автор выражает глубокую признательность П. В. Елютину за помощь и руководство в подготовке этой работы.

