

**Секция 21.**  
**Вопросы фундаментальной и приклад-**  
**ной физики**

## Содержание

<b>Секция 21. Вопросы фундаментальной и прикладной физики .....</b>	<b>3</b>
Кручинин Н.Ю., Кучеренко М.Г. Адсорбция фрагментов лизоцима на поверхности кристалла кварца. МД-моделирование.....	3
Домахин О.А., Алиджанов Э.К. Исследование фотофизических и транспортных свойств тонких пленок фуллеритов и эндофуллеренов.....	12
Дибихин К.Ю., Левин Е.В. Методы определения концентраций ионов тяжелых металлов .....	14
Кучеренко М.Г., Дюсембаев Р.Н. Двухимпульсная активация систем органических молекул в полимерных матрицах .....	18
Казачков В.Г., Казачкова Ф.А., Манакон Н.А. Проблемы преподавания курса общей физики.....	27
Клевцов Г.В., Клевцова Н.А., Ильичев Л.Л., Фесенюк М.В. Влияние ионно-плазменного покрытия, нанесенного при температуре фазового превращения, на усталостную прочность образцов из стали 20 .....	32
Кучеренко М.А. Самостоятельная работа по физике как способ формирования компетенций интеграции и информационных технологий у студентов инженерно-технических специальностей.....	34
Лантух Ю.Д., Пашкевич С.Н., Летута С.Н., Кецле Г.А., Алиджанов Э.К., Кульсарин А.А. Спектроскопические свойства биополимерных пленок ДНК-акридиновый оранжевый .....	41
Манакон Н.А., Толстобров Ю.В. Распределение намагниченности в ферромагнитных нанопластинках.....	43
Русинов А.П., Кислов Д.А., Тульских П.А. Особенности термодиффузионных процессов при микросекундной накачке.....	48
Рябинина О.Н. Методы выдвижения проблемы при изучении физики.....	52
Рябинина О.Н. Структурные изменения в спеченных объектах и материалах оснастки при электроразрядном спекании.....	58
Савченков Э.А., Шашкова Л.В., Шашкова В.К. Строчастические осцилляции характеристик тонкой структуры и эволюция микроструктуры в нестационарной диффузионной системе «метал-водород».....	64
Степанов В.Н., Кучеренко М.Г., Летута С.Н. Аннигиляция триплетных экситонов с триплетными центрами в полимерных цепях.....	73
Сутормина Ю.В. Истоки успешного поиска разрешения вопроса: может ли масса превращаться в энергию?.....	77
Чмерева Т.М., Кучеренко М.Г., Бобин Е.Г. Триплет-триплетная аннигиляция адсорбатов .....	81
Якунин И.Н., Бердинский В.Л. Непрерывные измерения как причина квантовой эволюции.....	85

## Секция 21. Вопросы фундаментальной и прикладной физики

**Кручинин Н.Ю., Кучеренко М.Г. Адсорбция фрагментов лизоцима на поверхности кристалла кварца. МД-моделирование**

**Оренбургский государственный университет, г.Оренбург**

Для описания кинетики бимолекулярных реакций в структурированных системах найдено пространственное распределение звеньев полипептидной цепи, адсорбированной твердой поверхностью на примере белкового фрагмента (70 аминокислотных остатков лизоцима), захваченного кристаллом кварца. Моделирование кинетики перехода макроцепи к равновесной конформации произведено на временной стадии до 300 пс методом молекулярной динамики из упорядоченной стартовой конфигурации белкового фрагмента при фиксированных температурах 400, 800 и 1200 К. Определены численные значения параметров использованной экспоненциальной аппроксимации плотности распределения звеньев полипептида по координате нормали к поверхности кристалла

Проблеме синтеза молекулярных наноструктур и их использования в различных технических устройствах и технологиях уделяется много сил и средств, особенно в последние годы [1-2]. Одной из типичных наносистем такого рода является адсорбированная твердой подложкой макромолекулярная цепь, образующая в приповерхностной области многопетлевую структуру нанометрового масштаба [3]. Конформационные характеристики полимерных молекул, захваченных сорбентом отличаются от таковых для макроцепи в растворе. По этой причине будет различаться и кинетика реакций между малыми молекулами, размещенными между звеньями макроцепей, находящихся в различных конформациях. Это связано не только с микрогетерогенностью полимерных структур, но и с появлением неоднородного распределения плотности звеньев макромолекул на мезоскопической шкале длин. Если молекулы одного из реагентов адсорбированы цепью однородно (или статистически однородно) по ее длине, характер пространственного распределения концентрации таких молекул будет повторять профиль плотности полимерных субъединиц в усредненной конформации. Знание функции пространственного распределения реагентов позволяет учесть влияние неоднородности на формирование кинетического режима молекулярных реакций [4]. Данное обстоятельство не может быть проигнорировано при детальном описании кинетики реакций, получающих развитие в наносистемах. Особую важность детальный анализ кинетики процессов в полимерных структурах приобретает в связи с постановкой новых проблем молекулярной биофизики и созданием нанотехнологий, использующих молекулы синтетических и биологических полимеров – белков и полинуклеотидов [5]. Именно в таком ракурсе часто приходится рассматривать не свободную макромолекулярную цепь в растворе, а саму молекулу или ее фрагмент на притягивающей поверхности твердого тела [3], в полости пористого сорбента [6] или в нанодисперсном коллоиде.

## Конформационная динамика адсорбированных полипептидов

Молекулярно-динамический анализ адсорбции полипептидов кварцевой подложкой указывает на выполнимость для таких систем экспоненциального закона распределения звеньев по координате  $z$  нормали к поверхности кристалла. В данном разделе мы определим характерные показатели экспонент для двух выбранных фрагментов белков.

Согласно Гросбергу А.Ю. и Хохлов А.Р [3] адсорбция идеальной макромолекулы на притягивающей поверхности является фазовым переходом второго рода. Из статистической теории адсорбции полимерных цепей следует, что существует критическая температура захвата  $T_{tr}$  такая, что при  $T < T_{tr}$  макромолекула адсорбируется на поверхности, а при  $T > T_{tr}$  остается свободной. Различают случаи сильной адсорбции ( $\tau \sim 1$ , где  $\tau = (T - T_{tr})/T_{tr}$  – относительная отстройка от температуры перехода), когда макромолекула «распластывается» на поверхности, и слабой ( $\tau \ll 1$ ), когда профиль локальной концентрации мономеров  $n(z)$  расплывается. Именно в этом случае формируется экспоненциальное распределение  $n(z) \sim \exp(-2\alpha\tau(z/a))$ , приведенное в [3].

В данной работе нами спланирован и проведен вычислительный эксперимент на базе молекулярно-динамической модели [7], в котором исследовалось поведение фрагмента белковой молекулы лизоцима, размещенного над поверхностью кристалла кварца в некоторой стартовой регулярной конфигурации. Для этой цели использовалось программное средство NureChem 7.0, в котором предусмотрено проведение квантовохимических и МД-расчетов.

Эксперимент по МД-моделированию проводился следующим образом:

- была построена модельная макромолекула, состоящая из 70 первых аминокислотных звеньев белка лизоцима, вытянутая в прямую линию;
- с помощью расширенного метода Хюккеля были рассчитаны парциальные заряды на каждом атоме сформированной молекулы;
- построен кристалл кварца в виде параллелепипеда длиной 60, шириной 12, и толщиной 1 элементарных ячеек (размеры выбирались таким образом, чтобы они соответствовали размерам построенного фрагмента макромолекулы);
- макромолекула располагалась вдоль кристалла кварца, параллельно плоскости его поверхности (рис. 1);
- задавалось силовое поле  $m\pi^+$ ;
- с помощью метода молекулярной динамики производилось последовательное вычисление конформаций макромолекулы с шагом 0.001 пс.

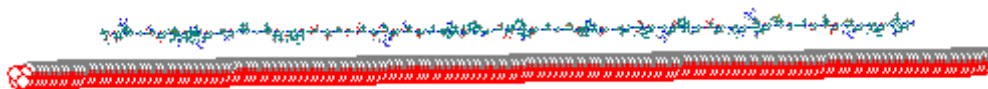


Рис. 1. Вытянутая начальная конфигурация фрагмента макромолекулы лизоцима, ориентированная параллельно плоскости поверхности кристалла.

МД-расчеты выполнены при температурах термостата 400, 800 и 1200 К в течение времени около 300 пикосекунд. Вычисления производились на компьютере Р4 3.2ГГц 1Гб ОЗУ со скоростью вычисления около 1 пикосекунды в час.

Обработка результатов МД-моделирования заключалась в вычислении линейной концентрации атомов макромолекулы на различных расстояниях от поверхности кристалла и построении графиков концентрационных распределений.

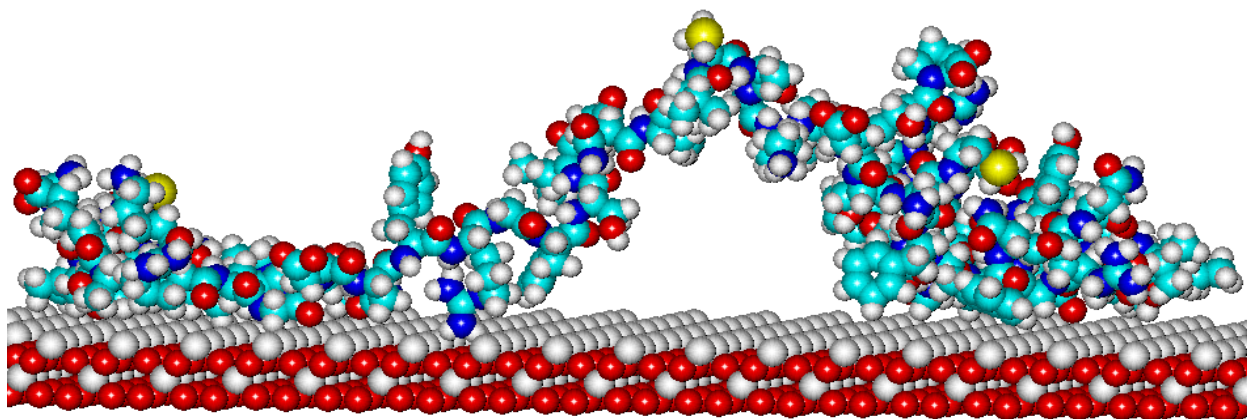


Рис. 2. Конформация фрагмента макромолекулы лизоцима через 185 пс от начала изменения исходной конфигурации. Температура 800 К.

Был проведен анализ данных в определенный момент времени ( $t=185\text{пс}$ ) и за промежуток времени (181-295пс) при температуре 800 К. Так, на рис. 2 представлена конформация белкового фрагмента (лизоцим) спустя 185 пс от начальной конфигурации. Имеет место адсорбция части звеньев поверхностью кристалла, с одновременным вытягиванием «петель» цепи в свободную пространственную зону.

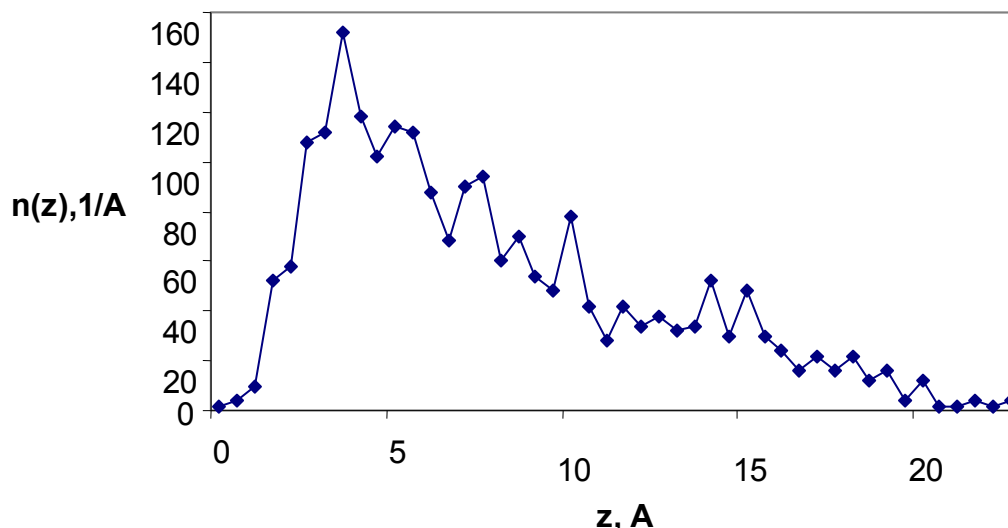


Рис. 3. Линейное распределение концентрации  $n(z)$  атомов полимерной молекулы вдоль нормали к поверхности спустя время  $t=185$  пс от начала изменения стартовой конфигурации.  $T=800$  К.

На рис. 3 представлен график «высотного» распределения линейной плотности атомов макроцепи, из которого видно, что вблизи поверхности распределение концентрации стремится к нулю. Это поведение кривой обусловлено строением макромолекулы, а именно наличием в ней жестких связей, а также малой длиной исследуемого фрагмента цепи. Поэтому при построении методом наименьших квадратов аппроксимационной экспоненциальной кривой, соответствующей данному графику, значения с низкой концентрацией вблизи поверхности не учитывались (рис. 4).

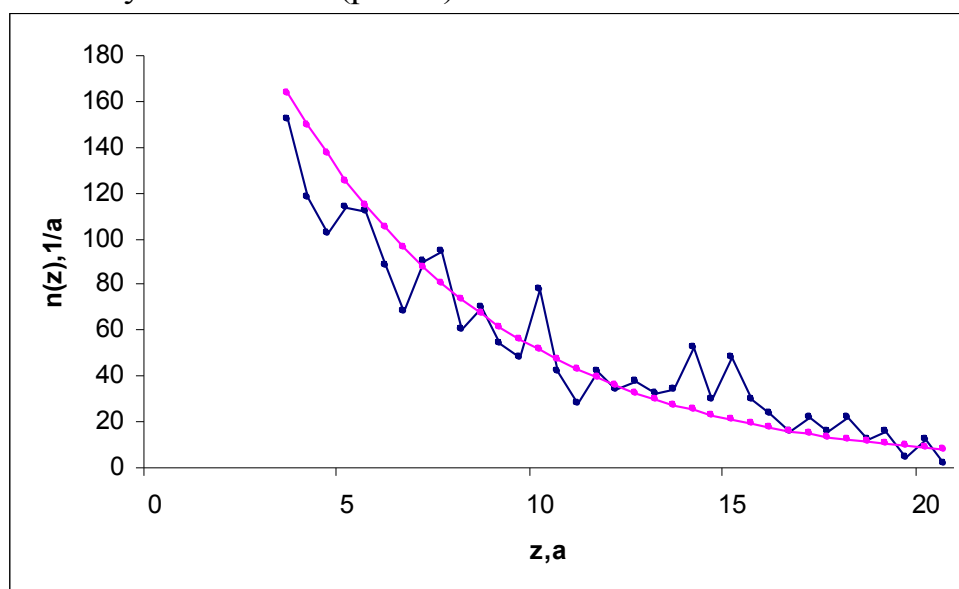


Рис.4. Экспоненциальная кривая, аппроксимирующая концентрационное распределение рис.3. Параметры экспоненциальной зависимости:  $n(z)=163.6*\exp(-0.179*(z-3.5))$ .  $T=800$  К.

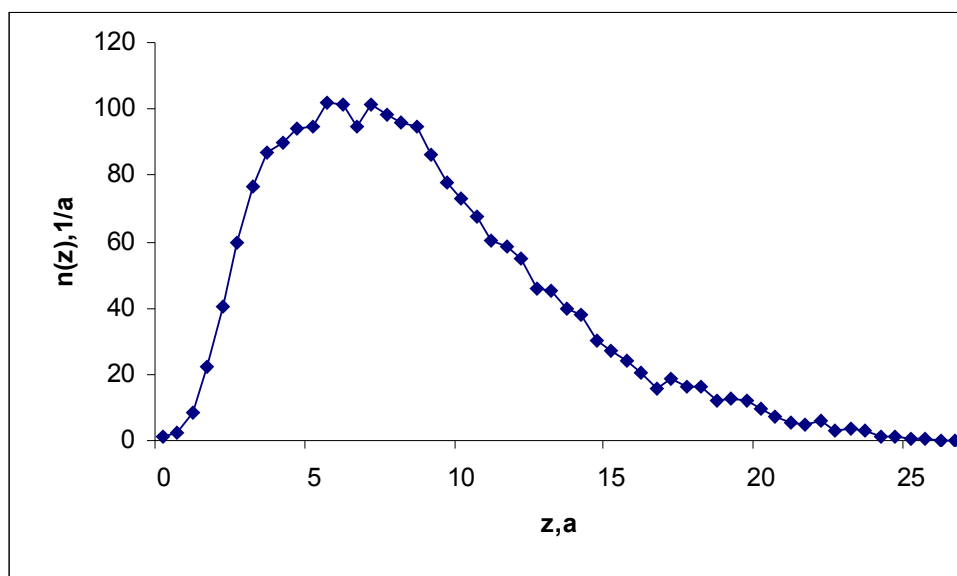


Рис. 5. Концентрационное распределение атомов белковой макромолекулы, полученное в результате усреднения различных конформаций цепи за время 181-295пс.

На рис. 5 представлен результат построения концентрационного распределения атомов белкового фрагмента, полученного в результате усреднения различных конформаций цепи за интервал времени от 181 до 295 пс. Как и при построении аппроксимирующей экспоненты для кривой распределения атомов в мгновенной конформации (рис. 4), экспоненциализация спадающего участка распределения рис. 5 производилась без учета начального участка распределения (рис. 6).

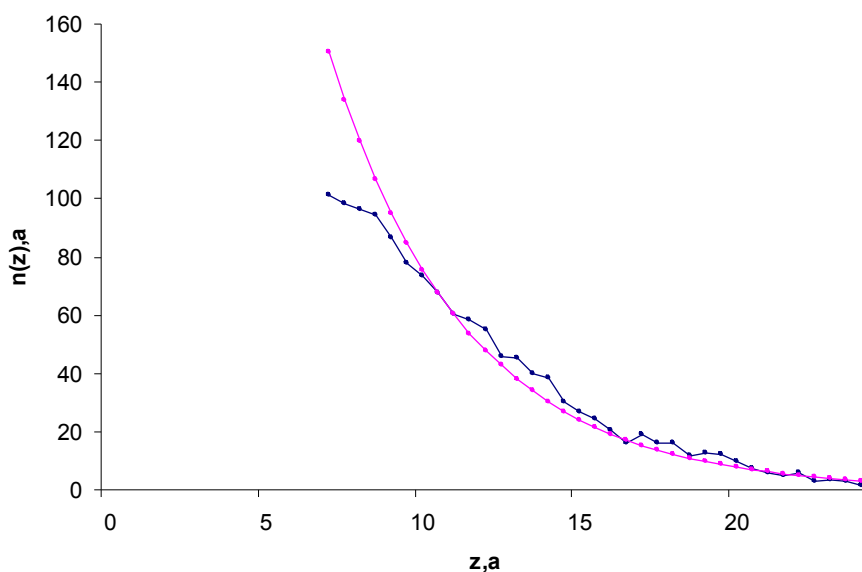


Рис. 6. Экспоненциальная кривая, аппроксимирующая распределение плотности, усредненное по конформациям макроцепи за временной интервал 181-295пс. Параметры аппроксимации  $n(z)=150.1*\exp(-0.23*(z-7))$ .

Аналогичные вычисления, проведенные для фрагмента лизоцима при температуре 400К, привели к формированию следующей конформации (рис. 7).

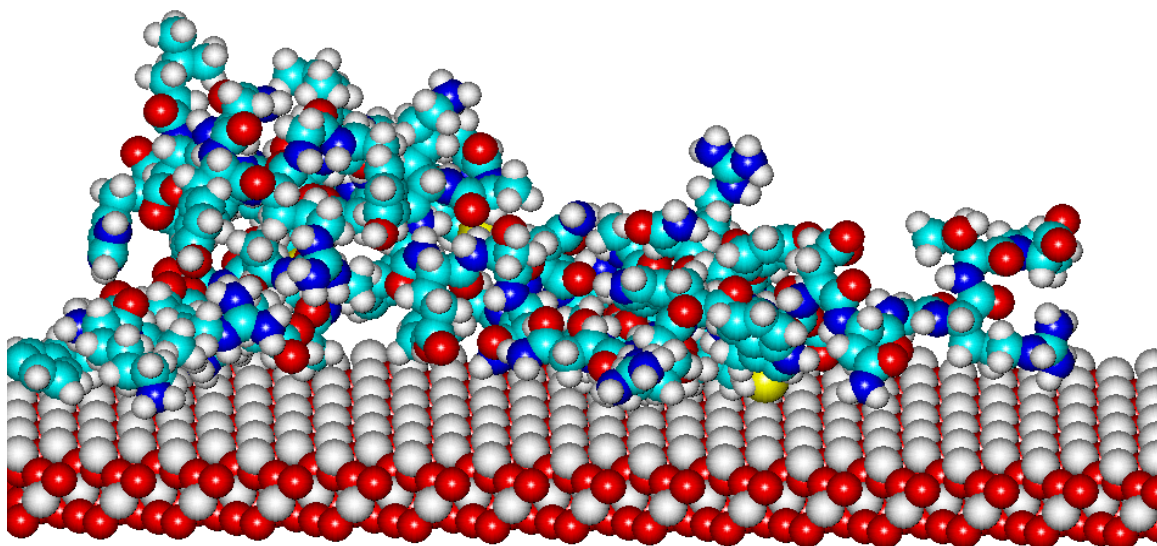


Рис.7 . Конформация фрагмента макромолекулы лизоцима на поверхности кристалла кварца через 228 пс от начала изменения исходной конфигурации. Температура 400 К.

На рис. 8 представлены графики дистантного распределения линейной плотности атомов макроцепи для ее мгновенной конформации при 228 пс и аппроксимация распределения экспоненциальной зависимостью.

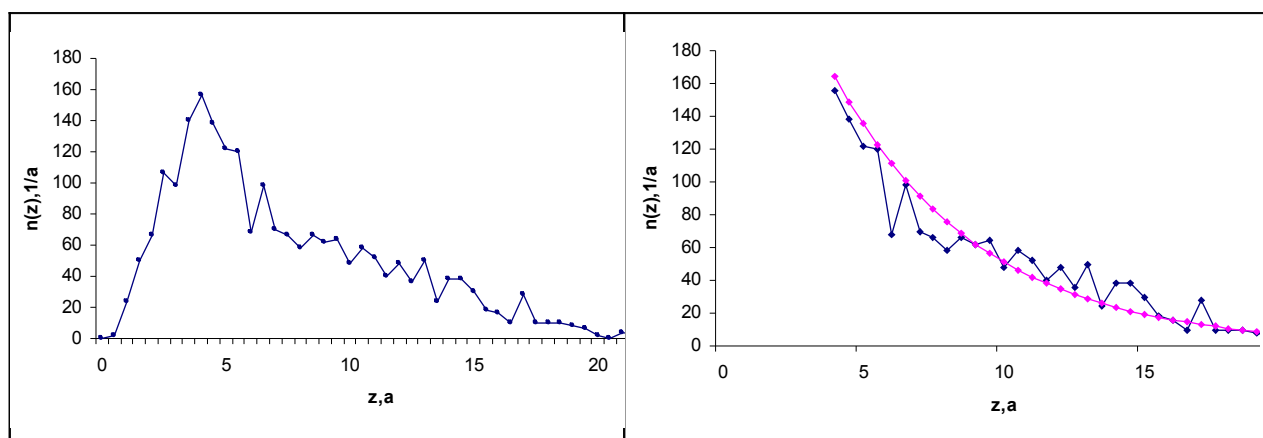


Рис. 8. Концентрационное распределение атомов  $n(z)$  для мгновенной конформации при  $t=228$ пс и его аппроксимация экспоненциальной зависимостью  $n(z)=164.3*\exp(-0.195*(z-4))$ . Температура  $T=400$  К.



На рис. 9 представлены результаты построения концентрационного распределения атомов белкового фрагмента, полученного в результате усреднения различных конформаций за интервал времени 204-296 пс, а также экспоненциализация спадающего участка распределения.

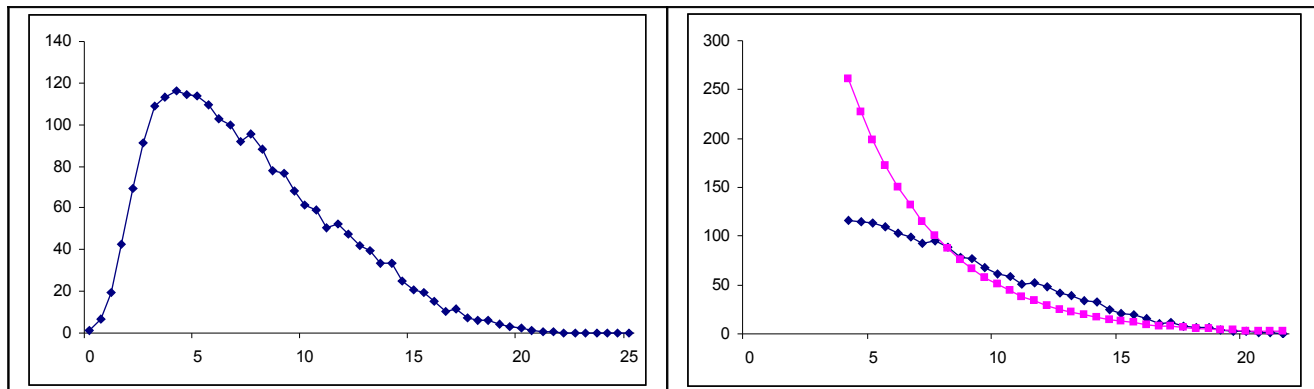


Рис. 9. Распределение концентрации атомов макромолекулярного фрагмента лизоцима по конформациям за время 204-296 пс. Экспоненциальная зависимость, соответствующая полученным значениям плотности представлена параметрами  $n(z)=260,7*\exp(-0.274*(z-4))$ .

На рис. 10 представлена конформация белкового фрагмента практически десорбировавшегося за время 107 пс при 1200 К. Аномально высокая температура термостата была использована для ускорения расчетной процедуры, но она не могла вызвать тепловую деструкцию макромолекулы в силу особенностей построения программы МД-моделирования.

Из построенных координатных зависимостей атомарной плотности полимера видно, что в целом выводы теории Гросберга А.Ю. - Хохлова А.Р. для адсорбции идеальной макромолекулы поверхностью подтверждаются результатами компьютерного моделирования. Отклонения расчетных кривых и их аппроксимаций от простых аналитических выражений теории обусловлены, по-видимому, ограничениями использованной модели свободно-сочлененной цепи, в которой рассматриваются шарнирно соединенные жесткие сегменты одинаковой длины. В случае же компьютерной МД-модели мы имеем дело с объектом, более тесно связанным с реальной макромолекулой, построенной из отдельных атомов, входящих в состав определенной аминокислоты, из которых и состоит белок. К несовершенству проведенного МД-моделирования следует отнести рассмотрение макромолекулярного фрагмента сравнительно небольшой длины, что было связано с ограниченной мощностью использованного компьютера. По этой причине выполненные расчеты носят скорее иллюстративный характер, однако тенденция, выявленная, на примере малого белкового фрагмента, по-видимому, сохранится и при переходе к нефрагментированным молекулам белков.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 06-08-00168) и Рособразования (задание № 1.3.06).

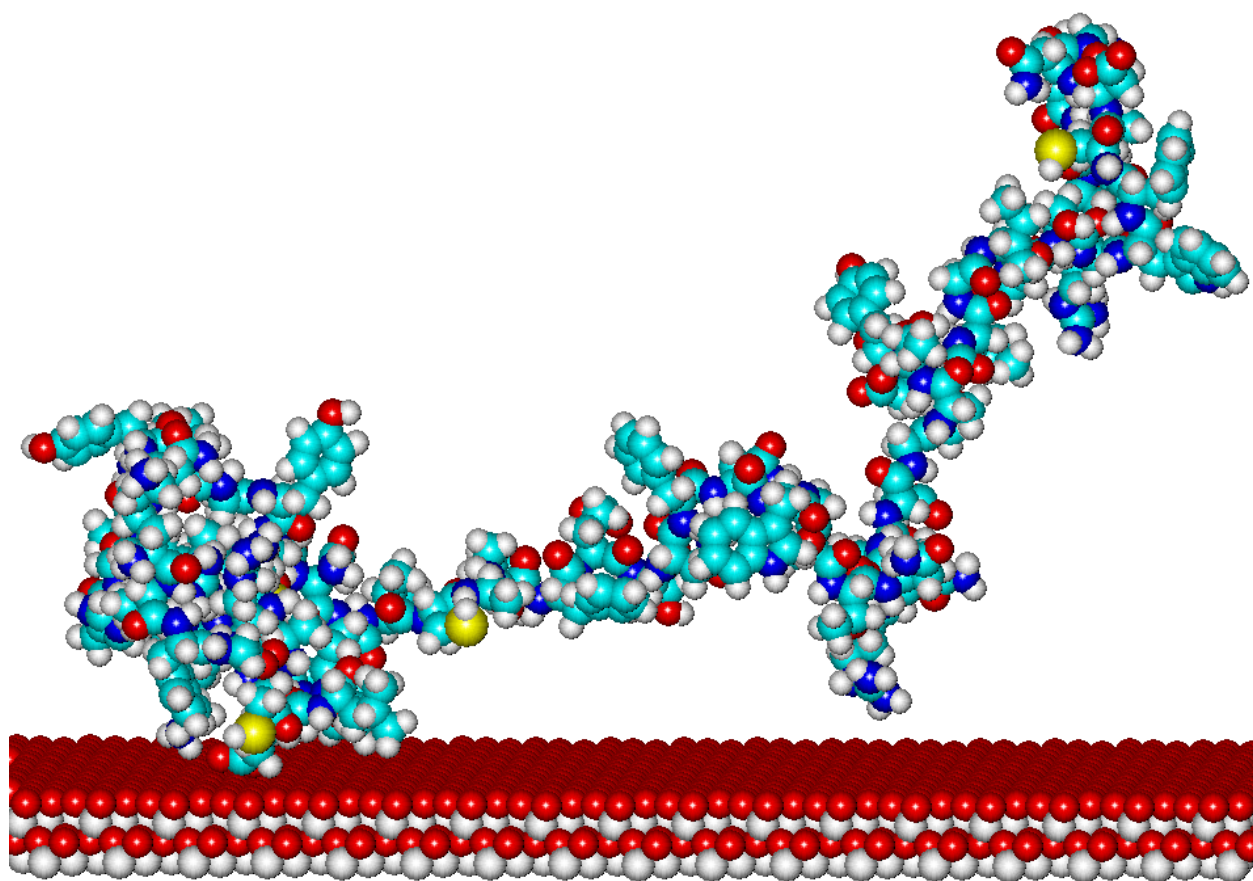


Рис. 10. Конформация фрагмента макромолекулы лизоцима на поверхности кристалла кварца через 107 пс от начала изменения исходной конфигурации. Температура 1200 К.

## Литература

1. Пул Ч.(мл.), Оуэнс Ф. Нанотехнологии. Серия: Мир материалов и технологий. М.: Техносфера. 2006. 336 с.
2. Суздаев И.П. Нанотехнология. Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. Серия «Синергетика»: От прошлого к будущему. М.: КомКнига. 2006. -592 с.
3. Гросберг А. Ю., Хохлов А.Р. Статистическая физика макромолекул. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. 1989. -344 с.
4. Кучеренко М.Г. О кинетике реакции синглетного кислорода с неподвижными сенсбилизаторами // Химич. физика. 2001 . -Т .20. -№3. -С. 31-36.
5. Лахно В.Д. Кластеры в физике, химии, биологии. Москва-Ижевск РХД. 2001. – 256 с.
6. Кучеренко М.Г., Игнатъев А.А., Жолудь А.А., Человечков В.В., Чмерева Т.М., Гуньков В.В. Кинетика кислородных фотореакций в структурах адсорбированных макроцепей. Матер. Всеросс. научно-практ. конфер. «Вызовы XXI века и образование». Секция 9. Вопросы фундаментальной и прикладной физики. Оренбург: ОГУ. 2006. –С. 41-48.
7. Рит М. Наноконструирование в науке и технике. Введение в мир нанорасчета. Москва-Ижевск РХД. 2005. – 160 с.

# Домахин О.А., Алиджанов Э.К. Исследование фотофизических и транспортных свойств тонких пленок фуллеритов и эндофуллеренов

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург

Углеродные наноструктуры были открыты сравнительно недавно, но сразу же стали объектом подробнейших исследований благодаря своим уникальным свойствам. Их изучение привело к появлению новых разделов физики, химии, электроники. Однако многие их физико-химические свойства остаются малоизученными до настоящего времени.

Целью данной работы стало сравнительное исследование структурных, фотофизических и транспортных свойств тонких пленок фуллеренов и эндометаллофуллеренов, сформированных на поверхности слюды и стекла. Исследуемые вещества были синтезированы электродуговым методом с последующей экстракцией неполярными и полярными растворителями.

Исследуемые пленки были получены методом термического вакуумного напыления в камере вакуумного поста ВУП-5. Напыление фуллеренов производилось из ячейки Кнудсена при температуре  $\sim 500^\circ\text{C}$ . Уровень вакуума составлял  $\sim 10^{-7}$  Торр, скорость напыления  $\sim 5$  нм/мин. Толщина пленок контролировалась интерференционным способом *in situ* и составляла  $\sim 150$ - $200$  нм. Напыление эндометаллофуллеренов проводилось из танталовой «лодочки» при температуре  $700^\circ\text{C}$  со скоростью  $\sim 1$  нм/мин.

Методами атомно-силовой микроскопии была исследована топография поверхности полученных пленок. Микроскопические исследования показали, что на поверхности слюды фуллерены образуют сплошную пленку, состоящую из фуллереновых кластеров с характерными размерами  $50$ - $70$  нм. В случае эндометаллофуллеренов, на начальном этапе, покрытие формируется в виде одиночных кластеров овальной формы размерами  $100$ - $150$  нм.

В дальнейшем нами исследовалась температурная зависимость темновой и фотостимулированной проводимости пленок фуллеренов и эндометаллофуллеренов. Получены значения их удельного сопротивления, транспортной и оптической ширины запрещенной зоны, энергии активации экситонных уровней. На основании анализа литературных данных [1] и результатов экспериментов проводится обсуждение полученных результатов.

Т.Л. Макарова «Электрические и оптические свойства мономерных и полимеризованных фуллеренов», Физика и техника полупроводников, 2001 г, том 35, вып. 3.

# **Дибихин К.Ю., Левин Е.В. Методы определения концентраций ионов тяжелых металлов**

**Оренбургский государственный университет, г. Оренбург**

Практика проведения проверки знаний студентов технических специальностей показывает, что основные приоритеты при проведении аудиторных занятий и лабораторных и практических работ отдаются изучению и освоению навыков использования законов и методов, уже ставших классическими. Скорее исключением, чем правилом, стало привлечение студентов старших курсов к исследованию и разработке оригинальных методик на основе известных физических эффектов. В качестве примера приводятся два метода, позволяющие решать актуальные на сегодняшний день задачи по определению источников и концентраций ионов тяжелых металлов, позволяющие оценивать масштабы и последствия загрязнения окружающей среды.

Анализ природы компонентов, подлежащих контролю, показывает, что соли тяжелых металлов находятся в воде в растворённом ионном состоянии [1]. При определении концентраций ионов тяжелых металлов необходимо учитывать, что предельно-допустимые концентрации (ПДК) распространяется именно на ионы и не учитывает возможное наличие тяжелых металлов, находящихся связанном состоянии [2]. Это обстоятельство существенно при выборе методов контроля.

Поскольку количество контролируемых компонентов данного вида отличаются большим разнообразием и, с точки зрения ПДК, к ним предъявляются более жёсткие требования, эта задача представляется наиболее сложной и требует первоочередного внимания.

Наиболее широко используются физические и физико-химические методы анализа, включающие [3,4]:

- эмиссионный спектральный;
- атомно-абсорбционный;
- масс-спектрометрический;
- рентгеноспектральный;
- хроматографический;
- полярографический;
- потенциометрический и др.

Общим недостатком, присущим перечисленным методам является то, что их можно квалифицировать как методы, основанные на вторичных эффектах и дающие косвенную оценку реакции среды, в которой они присутствуют, на их концентрацию.

В представленной работе предлагаются методы прямого измерения концентраций ионов тяжелых металлов на основе известных физических принципов, не требующие разработки и сертификации принципиально новых образцов измерительной техники.

Первый метод определения концентраций ионов тяжелых металлов, основанный на явлении дифракции, а именно, на различии их физических размеров.

Предлагаемый метод заключается в следующем. Раствор ионов тяжелых металлов последовательно подвергается воздействию излучения с плавно изменяемой длиной волны  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$  с мощностью излучения  $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ . Длина волны  $\lambda$  подбирается с тем расчетом, чтобы она априорно была несколько меньше физических размеров величины исследуемых ионов.

Концентрации ионов оцениваются величиной поглощения  $\Delta P$ , измеряемой приемным устройством. Далее измерения производятся с учетом зафиксированного поглощения:

$$P_1 = \Delta P_1 + P'_1; \quad (1)$$

$$P_2 = \Delta P_2 + P'_2 + \Delta P_1; \quad (2)$$

$$P_3 = \Delta P_3 + P'_3 + \Delta P_2 + \Delta P_1; \quad (3)$$

$$\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3. \quad (4)$$

Схема установки для определения концентраций ионов тяжелых металлов приведена на рисунке 1.

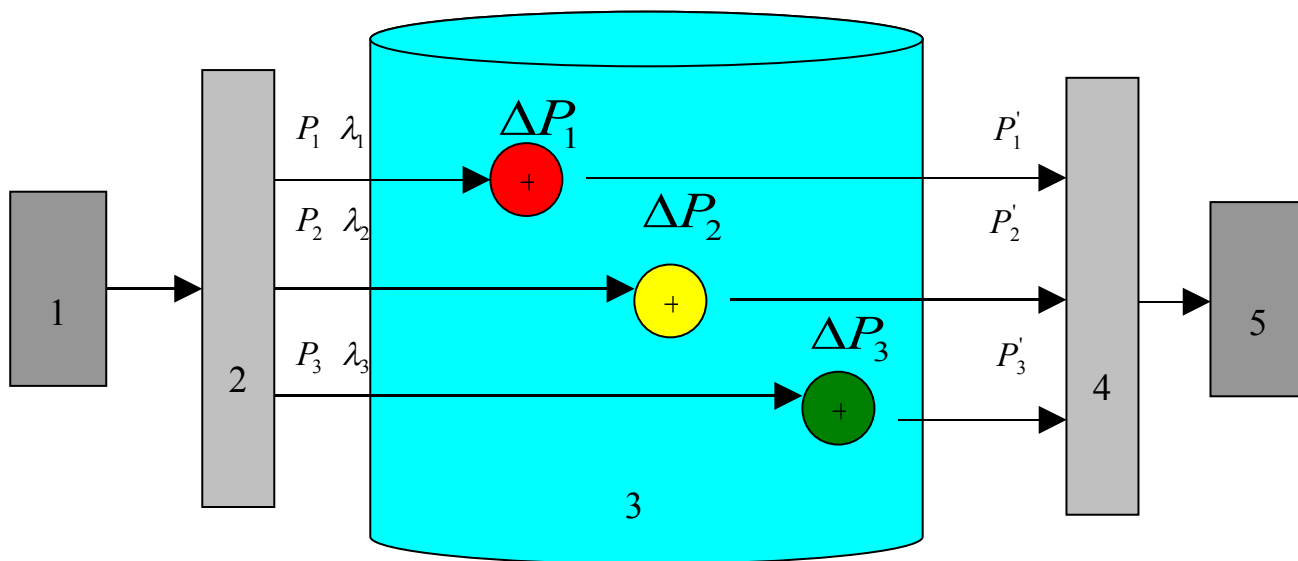


Рисунок 1 - Схема установки для определения концентрации ионов тяжелых металлов: 1 - генератор; 2 - излучатель; 3 - раствор, содержащий ионов тяжелых металлов; 4 - приемник; 5 - регистрирующий прибор.

Второй способ определения концентраций ионов тяжелых металлов, основан на волновых свойствах частиц, с учетом того, что каждая движущаяся частица обладает волновыми свойствами. Длина волны  $\lambda$ , излучаемая движущимся ионом, определяется из соотношения

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v}, \quad (5)$$

где  $m$  - масса частицы;  
 $v$  - скорость движения частицы;  
 $h$  - постоянная Планка.

Концентрации ионов тяжелых металлов, содержащихся в стоках промышленных предприятий, определяется интенсивностью излучения в спектре частот, зависящем от массы иона  $m$ . Для измерения концентраций ионов устанавливается ряд частотно - избирательных (спектрально- избирательных) датчиков, каждый из которых рассчитан на регистрацию конкретного вида ионов тяжелых металлов.

Схема установки для определения концентраций ионов тяжелых металлов, основанная на волновых свойствах частиц, приведена на рисунке 2.

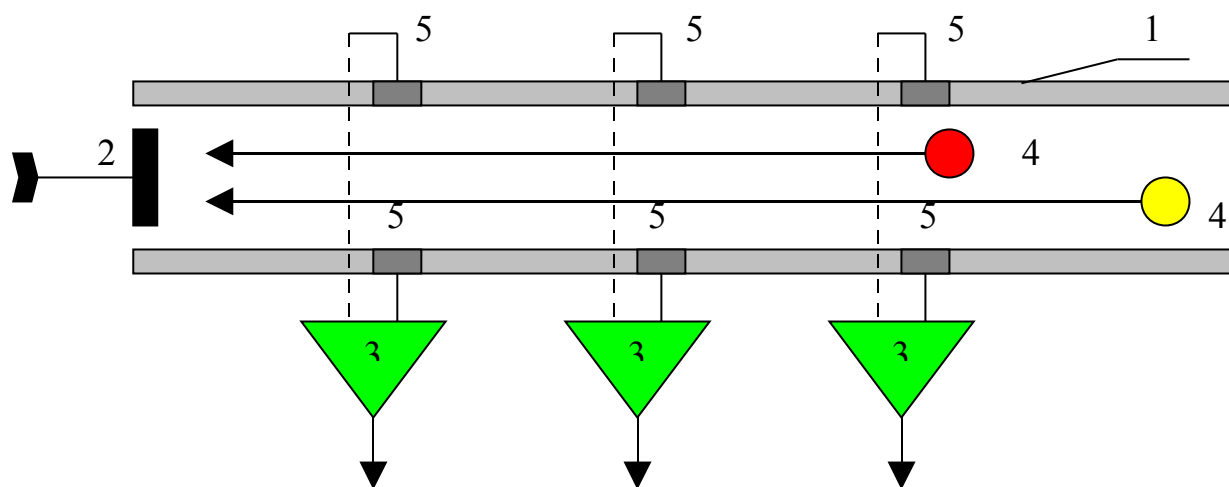


Рисунок 1 - Схема установки для определения концентраций ионов тяжелых металлов: 1 - оболочка; 2 - ускоряющий электрод; 3 - усилители; 4 - ионы примесей тяжелых металлов; 5 - спектрально - избирательные датчики.

Пример теоретического расчета для частицы, по массе равной электрону  $\bar{e}$  при скорости движения, близкой к скорости света

$$v \approx c \quad (6)$$

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34}}{9,11 \cdot 10^{-31} \cdot 3 \cdot 10^8} \approx 2,4 \cdot 10^{-12} \quad (7)$$

$$\lambda = \frac{\frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{сек}^2}}{\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{сек}}} \cdot \text{сек} = \text{м} \quad (8)$$

$$\lambda = 2,4 \cdot 10^{-12} \text{ м}$$

Спектр излучения находится в пределах границы крайних ультра-фиолетовых лучей.

## **Список использованных источников**

- 1 **Смирнов, Н.А.** Современные методы анализа и контроля продуктов производства / Н.А. Смирнов. - М. : Металлургия, 1985. - 397 с.
- 2 **Лурье, Ю.Ю.** Аналитическая химия промышленных сточных вод / Ю.Ю. Лурье. - М. : Наука, 1985. - 268 с.
- 3 **Захаров, М.С.** Электрохимические методы анализа природных и сточных вод / М.С. Захаров. - М. : Наука, 1985. - 328 с.
- 4 **Мигдли, Д.** Потенциометрический анализ воды / Д. Мигдли, К. Торренс.- М. : Мир, 1985. - 418 с.



# Кучеренко М.Г., Дюсембаев Р.Н. Двухимпульсная активация систем органических молекул в полимерных матрицах

Оренбургский государственный университет, г.Оренбург

Последовательная двухквантовая активация органических молекул в конденсированных матрицах радикально отличается от ситуации, когда возбуждение системы производится монохроматическим излучением не слишком высокой интенсивности, а вероятность одновременного поглощения двух фотонов одинаковой частоты пренебрежимо мала. Поэтапный двойной абсорбционный резонанс приводит к заселению высоковозбужденных электронных состояний молекул, включает в схему энергетического размена изоэнергетичные (резонансные) состояния матрицы, способствует дополнительному тепловыделению в зоне локализации фотоактивных молекул, которое, в свою очередь, вызывает отдельные термоактивированные акты, или целые серии таких актов. В этой связи, изучение лазероиндуцированных процессов в молекулярных системах при последовательном воздействии двумя импульсами с определенным соотношением частот и длительностей дает ценную информацию об отклике системы на возмущение сложной структуры [1].

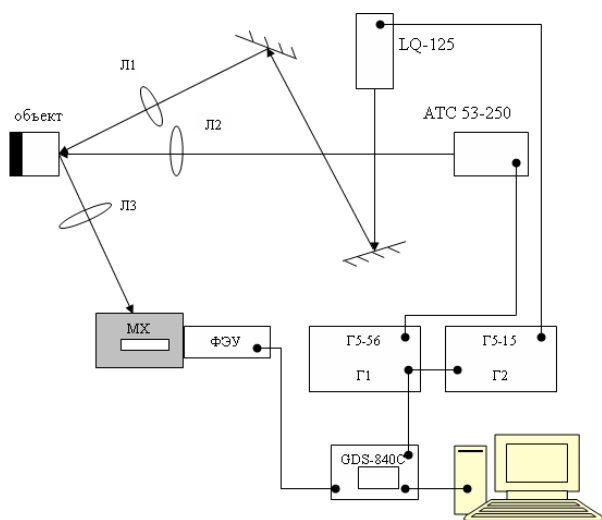
Суть проведенных в данной работе экспериментов заключалась в следующем: использовались два синхронизированных импульсных IAG:Nd<sup>3+</sup> -лазера с различающимися временными характеристиками выходных сигналов и регулируемой задержкой. IAG:Nd - лазер с диодной накачкой возбуждал молекулы красителя, внедренные в прозрачные полимерные матрицы, переводя молекулы в их триплетные состояния. При достаточно большой продолжительности прямоугольного импульса (порядка десятков или сотен микросекунд), населенность триплетных состояний выходила на стационарный уровень. Затем, через определенный интервал времени производилась дополнительная – повторная  $\delta$ -импульсная активация системы мощным IAG:Nd -лазером с ламповой накачкой. Повторная активация системы второй гармоникой лазерного излучения в момент времени  $t'$  приводила к практически «мгновенному» (на масштабе времени жизни  $\tau_T$  триплетного состояния) появлению дополнительных возбужденных молекул в облученном объеме, аддитивно к населенности, ранее сформировавшейся в результате действия лазера с диодной накачкой, а также к образованию высоковозбужденных состояний. Как уже было отмечено, последние делают схему энергетического размена весьма разветвленной, и требуют дополнительных свидетельств включения новых каналов энергопередачи. В данной работе мы ограничимся приведением результатов экспериментов по двухимпульсному лазерному инициированию молекулярных систем, и покажем, что кинетика трансформации энергии электронного возбуждения приобретает новые особенности, возникновение которых возможно даже без наличия новых процессов энергообмена.

При использовании на этапе повторной активации первой гармоники излучения неодимового лазера может происходить как переход системы в высоковозбужденное электронное состояние, так и «прямой» термический разогрев

системы. В ряде случаев повторная активация системы производилась импульсом лазера на красителях или He – Ne лазера. В этом случае было показано, что для некоторых полимерных образцов происходит «заброс» молекул красителя из состояния  $T_1$  в триплетное состояние с более высоким значением энергии, т.е. происходит переход  $T_1 - T_n$ . Для таких матриц оказался возможным перенос возбуждения от молекулы красителя на макромолекулу и рождение триплетного экситона, который, диффундируя по цепи полимера, обеспечивал необратимый «уход» энергии электронного возбуждения от молекул красителя. Экспериментально это проявлялось в виде резкого уменьшения (временного «провала») интенсивности сигнала флуоресценции.

В матрицах с неэффективным каналом экситонной генерации необходим учет другого эффекта. Дополнительное фотовоздействие на уже активированную систему приводит к «мгновенному» изменению парной функции  $f(r,t)$  распределения триплетных возбуждений, на основе которой строится функция  $K_{TT}(t)$  удельной скорости парной аннигиляции. Кинетический режим бимолекулярного процесса триплет-триплетного слияния возбуждений приобретает в этом случае некоторые особенности. Они могут быть обнаружены при регистрации медленно затухающих люминесцентных сигналов активированных молекул (фосфоресценция, замедленная флуоресценция), или по сигналам триплет-триплетного поглощения. Наиболее чувствительные изменения ожидаются в сигналах аннигиляционной замедленной флуоресценции люминофора, поскольку этот тип свечения формируется непосредственно в актах Т-Т-слияния. Но и при регистрации люминесценции одноцентровой природы кинетика сигнала отражает вклад бимолекулярного канала в общий закон распада возбужденного состояния. В этой связи мы приведем здесь данные по регистрации фосфоресценции красителей (одноцентровый вид свечения), подвергшихся модулированному во времени фотовозбуждению.

### *Эксперименты по двухступенчатому лазерному возбуждению красителей в полимерных матрицах*



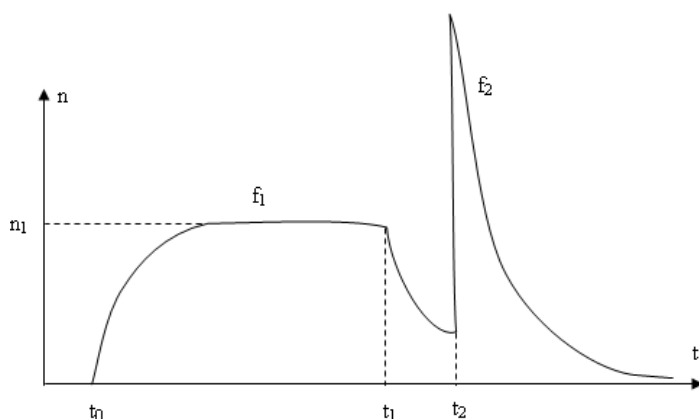
**Рис. 1.** Схема экспериментальной установки по двухступенчатому возбуждению молекул красителя

Для проведения экспериментов по импульсному лазерному инициированию молекулярных систем была использована установка лазерного спектрохронометра. Ее схема приведена на рис. 1. Возбуждение триплетных состояний молекул красителя осуществлялась твердотельным лазером с диодной накачкой марки АТС 53-250, работающим в импульсном режиме с продолжительностью импульса от 50 до 400 мкс на длине волны 532 нм. Повторная активация системы производилась импульсом твердотельного лазера LQ-125 на иттрий - алюминиевом гранате, активированном

ионами неодима (IAG: Nd<sup>3+</sup>). Интервал времени между моментами начала генерации лазеров мог варьироваться произвольным образом от 0 до 1 мс. Регистрация сигнала сигналов свечения и фотометрируемых сигналов производилась с помощью ФЭУ-84, электрические импульсы от которого передавались на цифровой осциллограф GDS-840, сопряженный с персональным компьютером. Постоянная времени измерительного комплекса не превышала 1 мкс. Синхронизация основных блоков установки осуществлялась с помощью генераторов импульсов Г5-15 и Г5-56. В зависимости от интервала времени между моментами начала генерации лазеров возможны три кинетических режима генерации-дезактивации триплетных состояний молекул красителя:

1. Повторная активация системы производится в момент времени  $t'$  до выхода кинетики населенности триплетных состояний на стационарный режим.
2. Активация системы дополнительным лазерным импульсом производится в момент времени  $t'$  после выхода кинетики населенности на стационарный режим, но до начала стадии релаксации.
3. Повторная импульсная активация системы производится в момент времени  $t_2$  на стадии релаксации населенности (после окончания действия первичного импульса лазера с диодной накачкой).

На рис. 2 показана временная диаграмма третьего режима из перечня.



**Рис. 2.** Схема двухимпульсной активации системы в случае, когда второй импульс попадает на стадию релаксации населенности триплетных состояний, индуцированных первым импульсом.

*Кинетика фосфоресценции и замедленной флуоресценции при развитии процессов взаимной дезактивации возбужденных состояний*

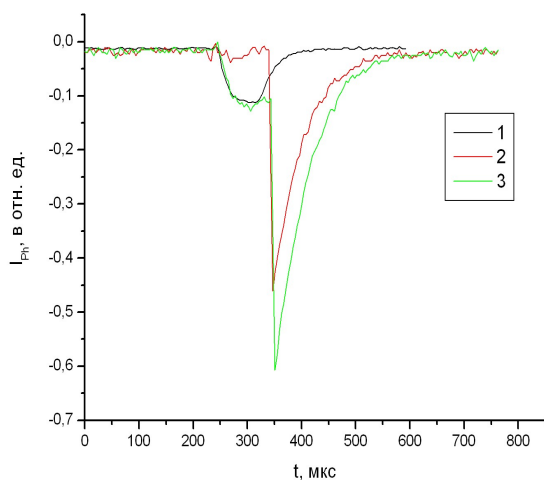
На рис 3-6 представлены осциллограммы кинетики фосфоресценции молекул эозина (эритрозина) в пленке карбоксиметилцеллюлозы (лизоцима) при облучении системы двумя лазерными импульсами различной продолжительности и степени перекрытия. Люминесцентный отклик системы на такое – сложномодулированное возбуждение представлял собой сигнал, качественно совпадающий по форме с кривой рис. 2.

Кинетика населенности  $n_Q^{(1)}(t)$  триплетных (Т) состояний молекул красителя на первом этапе, при продолжительном действии лазерного источника  $Q$  спустя характерное время выходит на стационарный режим  $n_Q^{(1)}(\infty)$ . Резкое выключение источника приводит к стадии релаксации населенности  $n^{(1)}(t)$ .

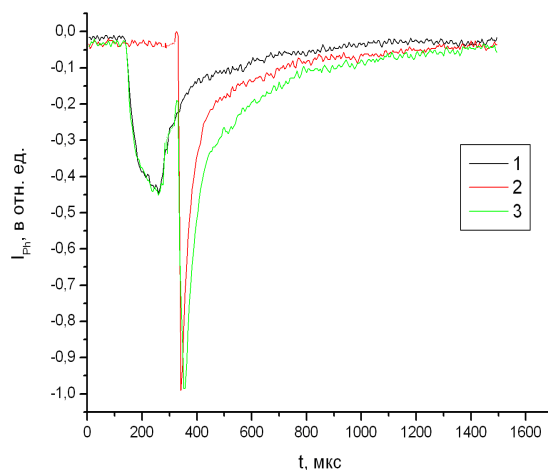
Кинетика населенности  $n_Q^{(1)}(t)$  Т-состояний на стадии инициации системы прямоугольным импульсом продолжительностью  $\tau_1 = t_1 - t_0$  со скоростью  $Q$  определяется из решения следующего нелинейного кинетического уравнения (типа Рикатти)

$$\dot{n}_Q^{(1)}(t) = -\frac{1}{\tau_T} n_Q^{(1)}(t) - K_{TT}(t) [n_Q^{(1)}(t)]^2 + Q. \quad (1)$$

Параметр  $\tau_T$  в (1) – это собственное время жизни Т-возбуждений без учета их взаимного влияния друг на друга. Несмотря на постоянство функции источника  $Q$  уравнение (1) в общем случае не имеет аналитического решения для произвольной функции  $K_{TT}(t)$  скорости бимолекулярной Т-Т- аннигиляции [2].

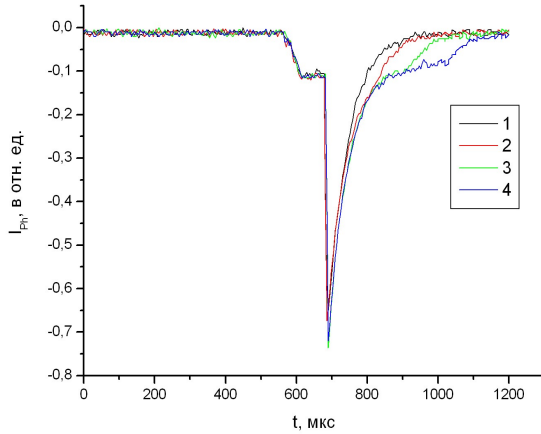


**Рис. 3.** Осциллограммы фосфоресценции эозина в пленке карбоксиметилцеллюлозы. Концентрация эозина  $n=2,2 \cdot 10^{-3}$  моль/л. Кривая 1 – сигнал фосфоресценции красителя, индуцированной второй гармоникой твердотельного лазера с диодной накачкой с длительностью импульса 100 мкс. Кривая 2 – тот же сигнал после воздействия на систему импульсом неодимового лазера с ламповой накачкой длительностью 15 нс. Кривая 3 – сигнал фосфоресценции красите-



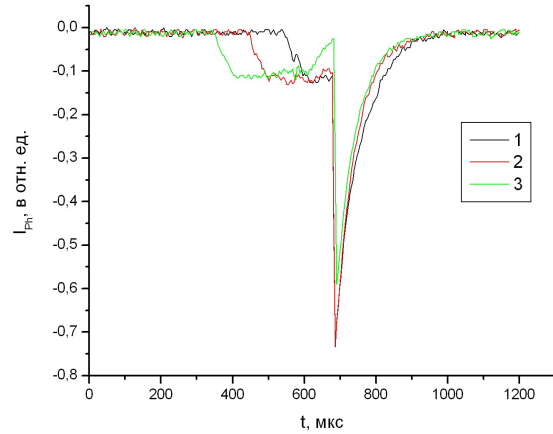
**Рис. 4.** Осциллограммы фосфоресценции эритрозина в пленке лизоцима. Концентрация эритрозина  $n=2,2 \cdot 10^{-3}$  моль/л. Кривая 1 – сигнал фосфоресценции красителя, индуцированной второй гармоникой твердотельного лазера с диодной накачкой с длительностью импульса 100 мкс. Кривая 2 – тот же сигнал после воздействия на систему импульсом неодимового лазера с ламповой накачкой длительностью 15 нс. Кривая 3 – сигнал фосфоресценции красителя, при облучении

ля, при облучении системы двумя лазерами. Интервал времени между моментами начала генерации лазеров – 150 мкс.



**Рис. 5.** Осциллограммы фосфоресценции эозина в пленке карбоксиметилцеллюлозы при облучении системы двумя лазерами. Концентрация эозина  $n=2,2 \cdot 10^{-3}$  моль/л. Кривые 1-4 – сигналы фосфоресценции в случае, когда длительность импульса лазера с диодной накачкой равнялась 100, 200, 300 и 400 мкс. Интервал времени между моментами начала генерации лазеров – 150 мкс.

системы двумя лазерами. Интервал времени между моментами начала генерации лазеров – 150 мкс.



**Рис. 6.** Осциллограммы фосфоресценции эозина в пленке карбоксиметилцеллюлозы при облучении системы двумя лазерами. Концентрация эозина  $n=2,2 \cdot 10^{-3}$  моль/л. Кривые 1-3 – для интервалов времени между моментами начала генерации лазеров 50, 150 и 300 мкс. Длительность импульса лазера с диодной накачкой 200 мкс.

Однако по прошествии некоторого характерного отрезка времени  $t_{tr}$  функция  $K_{TT}(t)$  практически достигает своего стационарного значения  $K_{TT}(\infty) = K_0$ , и тогда аналитическое решение (1) легко может быть получено [2]. Мы приведем здесь это решение, не повторяя преобразований, изложенных в [2]:

$$n^{(1)}(t) = \left( \frac{1}{K_0} \right) \frac{\lambda_1 C_0 \exp(\lambda_1 t) - |\lambda_2| \exp(-|\lambda_2| t)}{C_0 \exp(\lambda_1 t) + \exp(-|\lambda_2| t)}; \quad (2)$$

$$\lambda_{1,2} = \frac{1}{2\tau_T} \left( \pm \sqrt{1 + 4\tau_T^2 K_0 Q} - 1 \right); \quad C_0 = \text{const}.$$

Если  $n_Q^{(1)}(0) = 0$ , то  $C_0 = |\lambda_2| / \lambda_1$ . Характеристические числа  $\lambda_1, \lambda_2$  в (2) таковы, что  $\lambda_1 > 0$ , а  $\lambda_2 < 0$  и  $|\lambda_2| > \lambda_1$ . Тогда стационарное решение получаем при

$t \rightarrow \infty$ , то есть величину  $n_{st} = n_Q^{(1)}(\infty)$  будет определять растущая экспонента с показателем  $\lambda_1$ :

$$n_Q^{(1)}(\infty) = \lambda_1 / K_0 = \frac{1}{2\tau_T K_0} \left( \sqrt{1 + 4\tau_T^2 K_0 Q} - 1 \right), \quad (3)$$

причем время установления стационарного значения  $n_Q^{(1)}(\infty)$  определяется соотношением  $t \sim 1/|\lambda_2|$ , а зависимость его от постоянной  $C_0$  в (3) утрачивается.

При достаточно низкой интенсивности источника  $Q$  из (3) следует прямая пропорциональность  $n_Q^{(1)}(\infty) \approx Q\tau_T$  и отсутствие влияния на процесс формирования стационарной населенности  $n_Q^{(1)}(\infty)$  константы скорости аннигиляции  $K_0$ . Строгое равенство  $n_Q^{(1)}(\infty) = Q\tau_T$  справедливо в случае исключительно мономолекулярной дезактивации возбужденных состояний (в пренебрежении Т-Т-аннигиляцией). Очевидно, что к тому же результату (3) можно прийти, решая стационарное (алгебраическое) уравнение (1) с *постоянными коэффициентами*.

По завершению накачки, т.е. при  $t \geq t_1$ , функция  $n_Q^{(1)}(t > t_1) = n^{(1)}(t)$  релаксирует к значению нулевой населенности, и удовлетворяет однородному уравнению Бернулли

$$\dot{n}^{(1)}(t) = -\frac{1}{\tau_T} n^{(1)}(t) - K_{TT}(t) [n^{(1)}(t)]^2 \quad (4)$$

и начальному условию  $n_Q^{(1)}(t_1) = n^{(1)}(t_1) = n_0^{(1)}$ . Решение (4) известно для произвольного вида функции  $K_{TT}(t)$

$$n^{(1)}(t) = n_0^{(1)} \frac{\exp(-t/\tau_T)}{1 + n_0^{(1)} V(t)}; \quad V(t) = \int_0^t K_{TT}(\tau) \exp(-\tau/\tau_T) d\tau, \quad (5)$$

где  $V(t)$  – растущий со временем объем «аннигиляционный зоны».

Нетривиальным является вопрос о нахождении удельной скорости  $K_{TT}(t)$  парной аннигиляции триплетных возбуждений. Функция  $K_{TT}(t)$  определяется интегралом по радиальной переменной от дистанционно-зависящей скорости  $U(r)$  элементарного акта взаимной аннигиляции Т-возбуждений и их парной функции распределения  $f(r, t)$

$$K_{TT}(t) = \int_{r_0}^{\infty} U(r) f(r, t) d^3 r. \quad (6)$$

Для обменно-резонансного механизма, управляющего аннигиляцией триплетных квазичастиц, частота актов слияния возбуждений определяется выражением Декстера [3]

$$U(r) = U_0 \exp[-2(r - r_0)/L]. \quad (7)$$

Следуя работе Суны [4], а также работам [1-2], кинетическое уравнение для последней, при условии пространственной однородности системы, можем записать в виде

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} f(r, t) = & 2D\nabla^2 f(r, t) - U(r)f(r, t) + 2\frac{Q}{n_Q^{(1)}(t)}[1 - f(r, t)] - \\ & - 2n_Q^{(1)}(t)f(r, t)\left[\int U(r')f(r', t)f(r'', t)d^3r' - K_{TT}(t)\right], \end{aligned} \quad (8)$$

где  $D$  - коэффициент диффузии экситонов или молекул-носителей, а интегральное слагаемое в правой части (8) возникает из-за эффектов трехчастичных корреляций. Из (8) следует зависимость функции  $f(r, t)$ , а значит и скорости  $K_{TT}(t)$ , от плотности возбуждений  $n$ . Как уже отмечалось, по достижении стационарного предела  $K_{TT}(\infty) = K_0$  и временная производная в (8) обнуляется. Кроме того, при достаточно низких плотностях  $n_{st} = n_Q^{(1)}(\infty)$  становятся малыми интегральные слагаемые. Для аннигиляционных процессов пренебрежение нелинейными членами в (8) соответствует *двухчастичному приближению*.

#### *Воздействие на активированную систему дополнительным лазерным импульсом*

Включение дополнительного дельта-импульсного источника накачки  $n_0^{(2)}\delta(t - t')$  приводит к «мгновенному» (на масштабе времени  $\tau_T$ ) появлению  $n_0^{(2)}$  возбуждений в единице облученного объема в момент времени  $t'$ , аддитивно к населенности  $n_0^{(1)}(t')$ , ранее сформировавшейся в результате действия источника  $Q$ . Импульсная генерация новых Т-центров происходит однородно по пространству, поэтому их функция распределения  $f_2(r, t = t')$  в момент времени  $t'$  задается хэвисайдовой «ступенькой»  $f_2(r, t') = \theta(r - r_0)$ . Результирующее парное распределение  $f_{tot}(r, t')$  Т-центров после действия дельта-импульса определим как взвешенную суперпозицию парциальных корреляторов

$$f_{tot}(r, t') = \frac{n_{(Q)}^{(1)}(t')f_1^{(\pm)}(r, t') + n_0^{(2)}\theta(r - r_0)}{n_{(Q)}^{(1)}(t') + n_0^{(2)}}. \quad (9)$$

Индекс «+» либо « $Q$ » выбирается у функций в (9) в зависимости от того, находится ли момент воздействия  $t'$  в интервале  $(t_0, t_1)$ , т.е.  $t' < \tau_1$  или нет ( $t' > \tau_1$ ).

Для функции  $f_{tot}(r, t)$  при  $t > t'$  справедливо уравнение

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} f_{tot}^{\pm}(r, t) = & 2D\nabla^2 f_{tot}^{\pm}(r, t) - U(r)f_{tot}^{\pm}(r, t) + 2 \frac{Q\theta(t_1 - t')}{n_{(Q)}^{tot}(t)} [1 - f_{tot}^{\pm}(r, t)] - \\ & - 2n_{(Q)}^{tot}(t) f_{tot}^{\pm}(r, t) \left[ \int U(r') f_{tot}^{\pm}(r', t) f_{tot}^{\pm}(r'', t) d^3 r' - K_{TT}^{tot}(t) \right]. \end{aligned} \quad (10)$$

На релаксационной стадии ( $t' > \tau_1$ ) и при низких уровнях интенсивности накачки его можно записать в двухчастичном приближении

$$\frac{\partial}{\partial t} f_{tot}^{-}(r, t) = 2D\nabla^2 f_{tot}^{-}(r, t) - U(r)f_{tot}^{-}(r, t). \quad (11)$$

Находя  $f_{tot}^{-}(r, t)$  из (20) численными методами можно вычислить нестационарную скорость  $K_{TT}^{tot}(t \geq t_1)$  Т-Т-аннигиляции на релаксационной стадии по завершению действия обоих импульсов, используя для этого выражение (6). Кинетика сигналов фосфоресценции  $I_{Ph}(t)$ , термостимулированной замедленной флуоресценции (ЗФ)  $I_{TDF}(t)$  или триплетного поглощения  $I_{TT}(t)$  определяется на основе среднеобъемных концентраций Т-центров (аналогично (5))

$$n^{tot}(t) = \frac{[n^{(1)}(t') + n_0^{(2)}] \exp(-t/\tau_T)}{1 + [n^{(1)}(t') + n_0^{(2)}] V_{1\oplus 2}(t)}; \quad V_{1\oplus 2}(t) = \int_0^t K_{TT}^{tot}(\tau) \exp(-\tau/\tau_T) d\tau, \quad (12)$$

поскольку  $I_{Ph}(t) \sim I_{TDF}(t) \sim I_{TT}(t) \sim n^{tot}(t)$ .

### Заключение

Форма импульса регистрируемого сигнала несет информацию о процессе миграционно-ускоренной триплет-триплетной аннигиляции квазичастиц и парной функции распределения Т-возбуждений, которая может быть трансформирована к суперпозиционному варианту (9) посредством воздействия на систему дополнительным источником накачки. В условиях, когда термостимулированная ЗФ люминофора подавлена (большая величина энергетического  $S_1 - T_1$ -расщепления), как у большинства молекул ароматических углеводов, источником ЗФ служит сама Т-Т-аннигиляция возбуждений. В этом случае интенсивность  $I_{ADF}(t)$  времяразрешенного сигнала аннигиляционной ЗФ (АЗФ) представляется квадратичной формой среднеобъемной плотности  $n^{tot}(t)$  Т-возбуждений и, что наиболее важно (!), времязависящей удельной скоростью  $K_{TT}^{tot}(t \geq t_1)$  аннигиляции

$$I_{ADF}(t) = \varphi p_S K_{TT}^{tot}(t) [n^{tot}(t)]^2, \quad (13)$$

где  $\varphi p_S$  - постоянные множители. При параллельной регистрации сигналов АЗФ и фосфоресценции одного и того же люминофора можно восстановить временную зависимость  $K_{TT}^{tot}(t)$  по данным этих измерений. Тогда обработка сиг-



налов на основе представленной математической модели двухимпульсной активации системы даст возможность более прямого извлечения информации об особенностях пространственного распределения молекул и миграции энергии по неупорядоченным центрам локализации возбуждений.

Работа выполнена благодаря поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 06-08-00168- а2006\_фоин), а также Министерства образования и науки России (задание Рособразования № 1.3.06). PACS: 71.35.Gg, 73.20.Mf. Исследования проводились, также, в рамках Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России на 2007-2012 годы» (проект № 2007-3-1.3-22-01-382).

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Кучеренко М.Г.* Кинетика нелинейных фотопроцессов в конденсированных молекулярных системах. Оренбург: ОГУ. 1997, 386 с.
2. *Кучеренко М.Г.* Квантовый выход люминесценции молекулярных систем: примесное тушение и взаимная дезактивация возбуждений // Вестник Оренбургск. гос. ун-та. 2002.- №2 (12). - С. 176-184.
3. *Dexter D.L.* A Theory of sensitized luminescence in solids // J. Chem. Phys. 1953. -V. 21. -№5. P.
4. *Suna A.* Kinematics of exciton-exciton annihilation in molecular crystals // Phys. Rev. B. 1970. -V.1. -№4. -P. 1716-1739.

# Казачков В.Г., Казачкова Ф.А., Манаков Н.А. Проблемы преподавания курса общей физики

## Оренбургский государственный университет, Оренбург

Нарастающий технический прогресс постоянно требует повышения качества подготовки инженерных кадров. Не случайно в национальном проекте «Образование» особенно подчеркнута роль фундаментальных дисциплин: физики и математики, которые лежат в основе любой инженерной подготовки. Но, несмотря на существенное развитие методики преподавания физики в значительной степени связанное с внедрением в учебный процесс информационных технологий, качество усвоения курса общей физики студентами разных специальностей (в том числе и технических) оставляет желать лучшего. Попробуем взглянуть на эту проблему на примере кафедры общей физики Оренбургского университета.

В последнее время значительно улучшилась лабораторная база кафедры, её оснащение компьютерной и множительной техникой. С внедрением в учебный процесс информационных технологий совершенствуется методика проведения лекционных, лабораторных и практических занятий. Улучшилось обеспечение студентов раздаточными материалами.

Но проблема повышения качества усвоения курса физики слишком многогранна, чтобы решить ее узким спектром мер в короткий промежуток времени. Многие вопросы «упираются» не только, и не столько, в методику преподавания, сколько в организацию преподавания курса общей физики в целом. В этом плане мы видим ряд негативных факторов:

- значительное сокращение объема часов, отводимых учебными планами всех специальностей на освоение курса;
- отсутствие учебников и учебных пособий, одновременно соответствующих требованиям государственного образовательного стандарта и реальным учебным планам;
- чрезвычайно слабая подготовка выпускников средних учебных заведений по математике и физике;
- недостаточное кадровое обеспечение учебного процесса.

Остановимся на этих факторах подробнее и рассмотрим возможности их преодоления на уровне университета.

Преподавание дисциплины в вузе регламентируется двумя основополагающими документами:

1. Государственным образовательным стандартом (ГОС);
2. Учебным планом специальности.

В соответствии с этими документами составляются рабочие программы по физике, формируются учебно-методические комплексы (УМК), комплектуется лабораторное оборудование и т.д.

В большом вузе (каковым является Оренбургский государственный университет) имеется широкий спектр естественнонаучных и технических специальностей, образовательная программа которых предусматривает изучение курса общей физики, причем разное количество семестров (от одного до четырех).

Кроме того, имеются группы ускоренной подготовки инженеров по сокращенной программе. Причем даже в рамках одно-, двух-, трех-, четырех семестровых курсов на изучение физики отводится разное количество часов. А между тем ГОС по физике практически не различается для всех специальностей. Интернет-экзамены, предлагаемые Рособназором для проверки выполнения требований ГОС в сфере профессионального образования также почти не дифференцированы для разных специальностей. Это чрезвычайно затрудняет разработку унифицированных рабочих программ, соответствующих учебным планам и отвечающих требованиям ГОС, а также не позволяет группировать лекционные потоки. В ряде случаев лекционные потоки состоят из отдельных малочисленных групп. В результате на каждого преподавателя кафедры приходится по 3-5 лекционных потоков, что не позволяет осуществить качественный подбор высококвалифицированных лекторов и обеспечить достаточно высокий уровень лекционных занятий.

На основании ГОС предлагаются типовые рабочие программы, где в разделе 1 «Цели и задачи курса» отмечено, что должен студент знать, уметь и какие приобрести навыки в результате изучения курса общей физики. В частности, «уметь применять физические знания для решения физических задач». Имеется в виду, в том числе, умение решать задачи из имеющегося типового сборника задач под редакцией В.С. Волькенштейн или Т.Н. Трофимовой (это наиболее употребительные на кафедре физики сборники задач). Но при этом возникает вопрос, как и когда он этому будет учиться? Учебными планами на практические занятия (а это основной элемент обучения физике) отводится 1 час в неделю, и только в одном из трех или четырех семестров обучения, а на некоторых специальностях вообще не выделяется время на практические занятия. Преподаватели не успевают объяснить даже типовые подходы к решению задач по основным разделам курса. А без разбора задач на занятиях о приобретении навыков решения физических задач говорить не приходится.

Сходная, хотя и менее драматичная ситуация имеет место и в освоении лабораторного практикума, который исторически создавался в нашем университете под трех семестровый курс физики, который, был одинаковым и по отведенным часам и по программе, на всех инженерных специальностях. Сейчас, с появлением одно-, двух семестровых курсов обучения физики, лабораторный практикум оказался «усеченным», т.е. не весь читаемый лекционный курс охвачен лабораторным практикумом. А ведь в процессе выполнения лабораторных работ студент приобретает навыки работы с приборами и на практике усваивает и использует теоретические знания. В лабораторном практикуме отрабатывается не только закрепление теоретического материала, в нем приобретаются навыки и умения проведения эксперимента, а также обработки и представления результатов измерений. Сокращение времени отводимого на лабораторные работы не позволяет давать даже лучшим студентам так называемые «исследовательские» работы, которые развивают исследовательские способности студентов, умения использовать теоретические знания для решения не только типовых, но и нестандартных задач.

Государственный образовательный стандарт предлагает определенную последовательность в изложении физического материала. Однако, имеющиеся в ВУЗе учебники общего курса физики (даже недавно переизданные) содержат

иную, традиционно сложившуюся (вообще говоря, устаревшую) последовательность изучения курса физики. Целого ряда вопросов ГОС в учебниках просто нет, или их изложение «разбросано» по учебнику. Кроме того, предлагаемый в учебниках материал, избыточен по объему, особенно для студентов, изучающих физику в течении одно -, двух семестров (при полном отсутствии практических и минимуме лабораторных занятий). Это существенно усложняет работу преподавателя и самостоятельную работу студента.

В последнее время переизданы многие учебники и учебные пособия по физике, в том числе, «Курс общей физики» И.В. Савельева; «Курс физики» А.А. Детлафа и Б.М. Яворского; Т.И. Трофимовой; А.Н. Ремизовой и А.Я. Помаленко и ряд других. Для этих учебников (как «старых», так и переизданных) характерны: тенденция к математизации излагаемого материала, отход от описаний эксперимента, отсутствие связи с техническими приложениями физики. С одной стороны, такой подход позволяет освобождать время для изложения теоретического материала, уменьшает дублирование материала с инженерными специдисциплинами. Однако при этом теряется связь с практикой, что составляло красоту общей физики и привлекало к ней одаренную и способную молодежь.

Мы полагаем, что назрела необходимость в подготовке адаптированных под специальность (или группу специальностей) учебных пособий (а может и учебников), как это уже давно сделано для медицинских и сельскохозяйственных специальностей. Подготовка таких учебников и учебных пособий должна идти на государственном уровне на конкурсной основе. Но и на уровне вуза можно стимулировать такую деятельность в рамках подготовки диссертационных работ по методике физики, а также путем предоставления творческих отпусков.

Уменьшение объема часов, отводимых на изучение вузовского курса физики, происходит на фоне чрезвычайно слабой физико-математической подготовки школьников, которая характеризуется отсутствием навыков проведения простейших математических расчетов и преобразований, не знанием основ арифметики, алгебры, геометрии и, конечно, векторного анализа и основ дифференциального исчисления.

Об этом давно и всем известно, также как о несоответствиях в преподавании физики и математики. В курсе общей физики элементы векторного анализа и дифференциальных исчислений требуются с первых лекций, а изучение дифференциального исчисления начинается только со второго семестра. Это несоответствие у нас в университете преодолено только на математическом факультете, где изучение общей физики начинается на третьем курсе. В результате математики гораздо лучше усваивают курс общей физики.

На других факультетах следовало бы если не с третьего, то хотя бы со второго курса (в крайнем случае, со второго семестра) начинать изучение курса физики. Или возможен вариант первичной математической подготовки студентов на первых лекциях и практических занятиях по физике. Для этого необходимо предусмотреть такие занятия в учебном плане.

Самостоятельно первокурсники не в состоянии восполнить пробелы в математической подготовке, поэтому с первых же занятий по физике у них появ-

ляется ощущение «боязни» предмета и образуется непрерывно нарастающая «задолженность» по предмету.

В настоящее время вводится Интернет – контроль соответствия знаний студентов требованиям ГОС. Но в этом случае рабочие программы должны быть согласованы со структурой Интернет – тестов по дисциплине. Фактически это уже давно апробированная система контроля остаточных знаний. Как правило, она проводилась в соответствии с типовыми программами по тестам, составленным соответствующими кафедрами. Сейчас же организуется централизованный контроль остаточных знаний на уровне министерства. Но, к сожалению, предлагаемые Интернет – тесты пока не согласованы с реальными учебными планами и рабочими программами и практически не дифференцированы по специальностям. В связи с этим, а также из-за отсутствия (или малого количества) практических занятий, вероятность успешного выполнения студентами Интернет – тестирования весьма невелика (даже при условии, что весь необходимый материал разбирался на лекциях).

Аудиторная нагрузка преподавателей кафедры общей физики существенно больше, чем на выпускающих кафедрах, соответственно меньше возможностей для проведения исследовательской работы. В связи с этим проблема кадрового обеспечения кафедры общей физики стоит более остро, чем на выпускающих кафедрах. Решение этой проблемы видится в развитии целевой подготовки кадров для кафедры через аспирантуру и докторантуру (в частности, по методике преподавания общей физики) внутри университета, а также в организации совместных исследований с «родственными» выпускающими кафедрами.

Следует отметить, что кафедра общей физики по существу является общеуниверситетской хотя и числится за физическим факультетом. С одной стороны это правильно. Однако в рамках физического факультета она не может решить ни методические вопросы учебного процесса, ни вопросы материально – технического обеспечения учебного процесса. Кафедра ведет курс физики почти на всех факультетах и преподаватели кафедры (по университетскому положению) должны входить в состав факультетских методических комиссий для обсуждения и внедрения методик преподавания, разработанных на кафедре. В реальности нас приглашают только на заседания по обсуждению итогов рубежного контроля или сессии, т.е. на обсуждение уже свершившегося факта, а не на обсуждение совершенствования учебного процесса.

Средства на развитие материально-технической базы учебного процесса и исследовательской деятельности распределяются по факультетам, а они не заинтересованы в техническом оснащении кафедры общей физики. Физический факультет в одиночку этот вопрос решить не в состоянии, да и тоже не заинтересован в этом, поскольку общую физику на нём ведут специализированные кафедры (и даже территориально кафедра отделена от факультета).

В сложившихся условиях, видимо, необходимо особое внимание к кафедре со стороны ректората в лице проректора по учебной работе. В этом случае многие из перечисленных выше проблем учебно-методической и научно-методической работы решались бы проще и быстрее. Кроме того, имеет смысл создать при методическом совете университета физико-математическую секцию, которая бы решала вопросы повышения качества физико-математического образования.

В заключение следует отметить, что изучение физики в объеме существующего образовательного стандарта, немислимо без базовых знаний поступивших в вуз по элементарной физике и математике. Школьники, поступившие в вуз, должны обладать знаниями по физике в рамках ЕГЭ, требующего достаточно хорошего усвоения школьного курса физики. Но в университет набираются абитуриенты, набравшие по физике 25 (и даже 20) баллов. Поэтому для таких студентов необходимы дополнительные адаптационные занятия по физике и элементарной математике, иначе никакие совершенствования учебного процесса в рамках часов отведенных на физику учебным планом не дадут положительных результатов.

**Клевцов Г.В., Клевцова Н.А., Ильичев Л.Л., Фесенюк М.В.**  
**Влияние ионно-плазменного покрытия, нанесенного при**  
**температуре фазового превращения, на усталостную**  
**прочность образцов из стали 20**

**Оренбургский государственный университет, г. Оренбург**

В работе изучали влияние температуры напыления ионно-плазменного покрытия (TiN) на усталостную прочность образцов из стали 20. Принимая во внимание ранее описанный эффект залечивания дефектов, наблюдаемый на поверхности образцов при температуре фазового перехода, ионно-плазменное покрытие наносили, как при температуре фазового превращения (727 °С), так и при температурах отличных от температуры фазового превращения (717 и 737 °С). Усталостные испытания образцов, как с покрытием, так и без покрытия проводили на специально разработанной установке. В процессе испытания определяли общее количество циклов нагружения до разрушения образцов. Кроме того, с помощью измерителя акустического сигнала (ИАС-3) фиксировали количество циклов нагружения до появления макротрещины в образцах. Длину зоны усталостного развития трещины  $l_f$  на поверхности изломов [4] в направлении распространения трещины измеряли штангенциркулем с абсолютной погрешностью  $10^{-4}$  м. Микрофрактографические исследования усталостных изломов проводили в растровом электронном микроскопе JSM-T20 при различном увеличении.

Результаты испытания представлены в таблице.

Таблица – Количество циклов нагружения до разрушения образцов (N) и до зарождения трещины ( $N_z$ ), а также длина зоны  $l_f$  на поверхности излома

Поверхность образцов	Без покрытия	Температура нанесения покрытия		
		727 °С	717 °С	737 °С
N, цикл	$5,83 \cdot 10^3$	$7,63 \cdot 10^3$	$5,55 \cdot 10^3$	$4,27 \cdot 10^3$
$N_z$ , цикл	$1,01 \cdot 10^3$	$1,95 \cdot 10^3$	-	-
$l_f \cdot 10^{-3}$ м	0,80	0,75	0,75	0,75

Исходя из полученных результатов, можно заключить, что наиболее благоприятное влияние на время зарождения усталостной трещины оказывает покрытие, нанесенное при температуре фазового превращения (727 °С). Покрытие, нанесенное при температурах отличных от температуры фазового пере-

да, даже несколько снижает количество циклов до зарождения трещины по сравнению с образцом без покрытия. Эти результаты хорошо согласуются с данными по определению количества циклов нагружения до появления усталостной трещины с использованием акустической эмиссии и данными макро- и микрофрактографического анализа.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 06-08-96904р\_офи)



# **Кучеренко М.А. Самостоятельная работа по физике как способ формирования компетенций интеграции и информационных технологий у студентов инженерно-технических специальностей**

**Оренбургский государственный университет, г. Оренбург**

Проект стандартов третьего поколения блока «Физико-математические науки и фундаментальная информатика» ориентирован на компетенции в профессиональной и социально-личностной деятельности. При этом компетенции - интегрированные результаты образования, определяются как способность применять знания, умения и личностные качества для успешной деятельности в определенной области.

Содержание и структура самостоятельной работы студентов инженерно-технических специальностей по физике ориентирована на формирование компетенций интеграции (структурирование знаний, ситуативно-адекватной актуализации знаний, расширение накопленных знаний), информационных технологий (прием, переработка, выдачи и преобразование информации), самосовершенствования, саморегулирования, саморазвития, личностной и предметной рефлексии.

Базовым методологическим подходом организации самостоятельной работы студентов по физике является герменевтический подход, ориентирующий образование на организацию понимания как способа духовно-практического освоения мира, основанного на способности человека выявлять, присваивать и формулировать смыслы. Такое образование имеет в своей основе процедуру понимания, а значит истолкования как индивидуального осмысления, продуктом которого всегда является личностно-новое.

При этом главными принципами педагогического проектирования самостоятельной работы являются принцип человеческих приоритетов как принцип подчинения процессов и ситуаций обучения реальным потребностям, возможностям и интересам обучающихся, а также принцип саморазвития проектируемых систем, процессов, ситуаций, означающий создание их динамичными, гибкими, способными по ходу реализации к изменениям, перестройке, усложнению и упрощению.

Содержание самостоятельной работы предусмотрено учебным планом и учебными программами по физике, на основе которых нами были разработаны учебно-методические материалы как средства педагогического взаимодействия и организации учебного процесса, к которым относятся: методические рекомендации к самостоятельной работе студентов «Приемы осмысления естественно-научного текста (на примере физики)», методические указания «Задания к спецкурсу «Смысловое чтение естественнонаучного текста»» и «Задачник по общему курсу физики».

Одним из видов интеллектуальной деятельности, в которую включается студент в процессе самостоятельной работы, является деятельность текстовая. Объектом текстовой деятельности является учебный текст по физике, предметом – коммуникативная интенция обучающихся, т.е. не смысловая информация

вообще, а смысловая информация, объединенная коммуникативно-познавательным намерением. Целью-мотивом текстовой деятельности является стремление к реализации поддающегося содержательной интерпретации коммуникативно-познавательного намерения. Действия могут рассматриваться конкретные акты осмысления и операции с применением мнестических средств (средств памяти) и средств предикции (выражения с использованием того или иного знака). При этом студент в текстовой деятельности осуществляет и действия: по восприятию информации (образной, знаковой, формализованной, текстовой, контекстной), и действия использования информации (ориентирования, запоминания, анализа, варьирования, выявления и формулирования проблемы, поиска средств ее решения), и реализации результатов, воплощенных в переживании, эрудиции, целевом накоплении информации, сообщении, документировании, воспроизведении и исполнении.

Нами разработан комплексный метод анализа учебного текста по физике в контексте герменевтики и логики естественнонаучного знания как один из методов смыслового анализа учебной информации студентом. Основаниями предложенного анализа учебных текстов явились экспериментальный и расчетный методы определения показателей качества содержания учебников (классификация Н.И. Тупальского). Экспериментальный метод, как правило, осуществляется техническими средствами или подсчетом количества событий или объектов. Расчетный же осуществляется при помощи вычисления с использованием значений параметров, найденных другими методами.

Метод анализа естественнонаучных учебных текстов включает три этапа:

1. определение количественных параметров текста;
2. определение качественных показателей текста;
3. представление его модели, являющейся графическим изображением смысловой макроструктуры текста (в виде таблиц и дитекса).

В качестве количественных параметров были выбраны известные характеристики текста:

4. длина текста (оптимальная 2-4 страницы);
5. средняя длина предложения (не должна превышать 160 печатных знаков из-за особенностей кратковременной памяти человека);
6. критерий оптимальности текста (на одно базисное предложение, которое несет новую информацию, должно приходиться пять разъясняющих и дополняющих предложений);
7. концентрация изложения (отношение объема безусловно необходимого текста к полному его объему; оптимальная – 40-60%);
8. оценка трудности текста (рассчитывается по формуле Флеша):

$$X_1 = 206,48 - 1,015 \cdot X_2 - 0,846 \cdot X_3,$$

где  $X_1$  – оценка трудности текста для среднего взрослого,  $X_2$  – средняя длина предложения в словах,  $X_3$  – число слогов на 100 слов текста.

К несомненно важным для осмысления учебного текста относятся предложенные нами количественные показатели:

- 1) степень математизации текста (отношение количества математических предложений к общему количеству предложений в тексте);
- 2) степень иллюстрированности текста (отношение количества данного типа кодирования к общему количеству типов кодирования информации; М.Е. Бершадским определены следующие типы: наглядный образ, символическая, графическая, математическая и графическая модели);
- 3) количество новых понятий в тексте;
- 4) количество определяемых понятий (понятия, которые вводятся через известные; т.е. те, записанные математические выражения для которых можно интерпретировать);
- 5) неопределяемые понятия (основные понятия, включаемые в гипотезу);
- 6) степень насыщенности текста новыми понятиями (отношение количества новых понятий к общему количеству понятий в тексте).

Качественное исследование учебного текста – это определение его места в обобщенной классификации и его структурно-семантический анализ. Структурно-семантическое изучение текста заключается в разделении его на смысловые текстовые элементы, определение объемов этих элементов (в знаках-словах), разделение их на смысловые зоны. Заметим, что смысловые зоны не выстроены по иерархическому принципу, более того, текстовые элементы могут одновременно относиться к различным их видам.

Критериями для соотнесенности данного текстового элемента с конкретным видом смысловой зоны служат: логическая структура физического знания и методологические герменевтические средства.

Методолог естественнонаучного знания А.М. Мостепаненко располагает основные элементы физического знания по степени их общности и необходимости в линию: данные опыта – эмпирические понятия и закономерности (вместе эмпирический уровень знаний) – теории – основные идеи, принципы и гипотезы (вместе теоретический уровень). Наиболее общим элементом физического знания служат основные идеи, принципы, гипотезы, относящиеся не только к отдельным теориям, не только к отдельным областям физических явлений, но и ко всему объекту физического познания (принцип сохранения и превращения энергии, начала термодинамики, принцип относительности, принцип неопределенностей и т.д. Указанная линия представляет собой логическую структуру физического знания, элементы же ее выбраны нами в качестве критериев для определения видов смысловых зон.

Другими критериями для определения качественных особенностей текстовых элементов стали следующие методологические герменевтические средства:

1. принцип контекстуального подхода (минимальный контекст: указаны место и значение данного учебного материала в рамках предмета; макро контекст: указано место предмета в отрасли знания, существует активизация мышления на теоретические и практические выходы полученной информации (анализ смысло-жизненных ситуаций, иллюстрация примерами и обобщениями); сверхконтекст: место и значение данного материала в рамках культуры в целом; выявление аспектов личностного (или человеческого) смысла данной проблематики;

концептуальное изложение учебного материала в его генетико-историческом, структурно-содержательном и смысловом аспектах; выход на принципиальную незавершенность и открытость знания; выход на универсалии Бытия, т. е. на такой уровень универсальности, где обнаруживаются существенные связи между блоками мироздания);

2. принцип лучшего понимания (взгляд на элемент физического знания с «высоты» сегодняшнего времени);
3. принцип диалоговой природы текста (формулирование вопросов к читателю, активизирующих его мышление, «включающих» воображение; эмоциональные, оценочные и рефлексивные суждения автора).

На завершающем этапе анализа естественнонаучного учебного текста количественные параметры включены в таблицу .

Результатом смысловой переработки и усвоения учащимися текстовой информации является диаграмма, названная, по терминологии И.Ф. Неволина, дитексом (см. Приложение). Дитекс - акроним от слов: *Д*иаграмма – *Т*ЕКст – *С*мысл. Дитекс дает возможность симультанно воспринимать «ход мыслей» во всем тексте, по нему легко можно судить о степени сложности и прегнантности смысловой структуры. Его также легко читать после ознакомления с принципами построения, если под чтением подразумевать в данном случае интерпретацию текста. На дитексе, что не менее важно, отражен относительный объем составных частей всего текста, благодаря чему становится соотносимым семантический вес текстового элемента с его объемным весом.

В конечном счете, предложенная модель учебного текста есть пока еще «Текст в себе», который в процессе дальнейшей переработки, т.е. переструктурирования его содержания на основе выявления смысловых связей между текстовыми элементами, преобразуется в «Текст для себя», а далее и в «Смысл для себя».

Разработанный нами и описанный выше комплексный метод анализа текста на основе герменевтического подхода является способом активного осмысления студентами учебного естественнонаучного текста как источника новой смысловой информации.

Таким образом, на основе дидактического потенциала герменевтики, выявляющей разносторонность феномена понимания, «признающей» многообразие условий и способов его достижения при чтении учебного текста, решается задача формирования у студентов инженерно-технических специальностей как компетенций, относящихся к человеку как личности и субъекту деятельности, так и компетенций, относящихся к деятельности человека (познавательной, предметной и информационных технологий).

## Приложение Закон сохранения импульса.

(Учебник: Р.Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс. Фейнмановские лекции по физике.  
М.: Мир, 1976)

Смысловые Зоны текста		Номер текстового элемента (количество знаков – букв в текстовом элементе, выра- женное в единицах $\times 10^2$ )																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Принцип Диалоговой природы текста										*									
Принцип Лучшего понимания										*									
Принцип Контекстуального подхода	Сверх- контекст																		
	Макро- контекст																		
	Минималь- ный контекст	*																	
Теоретический уровень познания	Основные Законы Принципы- Гипотезы			*	*	*	*		*	*	*								
	Теория									*									
Эмпирический уровень познания	Эмпириче- ские поня- тия, закономер- ности		*					*											
	Данные опыта																		
		1(5.06)	2(2.,,31)	3(2.1)	4(0.77)	5(1.61)	6(1.19)	7(17,36)	8(5.67)	9(1,05)	10(6.79)	11	12	13	14	15	16	17	18

### Список использованной литературы:

1. Богин Г.И. Обретение способности понимать: Введение в филологическую герменевтику / [http:// pall. Нога / ru / learn / bogin\\_ bibl / 0. htm](http://pall.noah.ru/learn/bogin_bibl/0.htm)
2. Бельковец Л.П. Психолингвистическая, нейропсихологическая и психофизиологическая модель для объективной оценки среды обучения // Школьные технологии. – 2002. - № . – С. 13-81.
3. Брудный А.А. Психологическая герменевтика. – М.: Лабиринт, 2005. – 336 с.
4. Бершадский, М.Е. Основы когнитивного обучения физики [Текст] // Школьные технологии. – 2002. - № 3. – С.3-25.
5. Гальперин П.Я. Развитие исследований по формированию умственных действий // Психологическая наука в СССР. – Т.1. – М., 1959. - С.31-45.
6. Дридзе, Т.М. Текстовая деятельность в структуре социальной коммуникации: проблемы семиосоциопсихологии [Текст] / Т.М. Дридзе. – М.: Наука, 1984. – 268 с.
7. Кузнецов В.Г. Герменевтика: эволюция идей и современное состояние // Вестник МГУ.- 1992. – Серия 14. Философия. - №2. – С.64-75.
8. Леонтьев А.Н. Проблемы развития психики. - М., 1972.- 236 с.
9. Мамардашвили, М. Мой опыт нетипичен [Текст] / М. Мамардашвили.- СПб.: Азбука, 2000. – 400 с.
10. Мостепаненко, А.М. Методологические и философские проблемы современной физики [Текст] / Мостепаненко А.М. – Л.: ЛГУ, 1977. – 167 с.
11. Фокин Ю.Г. Теория и технология обучения: деятельностный подход: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 240 с.
12. Миллер Д., Галантер, Ю., Прибрам, К. Планы и структура поведения. – М., 1965. - 312 с.
13. Рузавин Г.И. Герменевтика и проблема интерпретации, понимания и объяснения // Вопросы философии. – 1983. -№10. – С.62-70.
14. Поппер Карл Р., Объективное знание. Эволюционный подход. Пер. с англ. Д.Г. Лахути. – М.: Эдиториал УРСС, 2002. – 384 с.
15. Жинкин, Н.И. О кодовых переходах во внутренней речи // Вопросы языкознания. – 1964. - №6. – С. 22-30.
16. Розанов, В.В. О понимании: Опыт исследования природы, границ и внутреннего строения науки как цельного знания – М.: Танаис, 1996. – 808 с.
17. Неволин, И.Ф. Психологические механизмы переработки семантической информации текста // Экспериментальное исследование продуктивных (творческих) процессов мышления. – М. МГЗПИ, 1973. - С.140-148.

**Лантух Ю.Д., Пашкевич С.Н., Летута С.Н., Кецле Г.А.,  
Алиджанов Э.К., Кульсарин А.А. Спектроскопические свойства  
биополимерных пленок ДНК-акридиновый оранжевый**

**Оренбургский государственный университет, г. Оренбург**

Комплексы ДНК с биологически активными веществами (БАВ) вызывают активный интерес многих исследователей на протяжении нескольких последних десятилетий (1). Изучение подобных комплексов *in vitro* позволяет моделировать влияние токсичных, мутагенных и канцерогенных веществ, а также лекарственных препаратов на молекулы ДНК в клетках живых организмов (2). Исследование комплексов ДНК с БАВ до настоящего времени проводилось преимущественно в растворах, тогда как *in vivo* молекулы ДНК находятся в плотноупакованном, конденсированном состоянии (3). В связи с этим, большое значение приобрело моделирование процесса конденсации молекул ДНК в лабораторных условиях в виде различных твердофазных структур.

Особый интерес представляют конденсированные структуры из молекул ДНК, активированных различными органическими красителями. Подобные материалы в виде биополимерных пленок могут использоваться для создания ДНК-лазеров, высокоэффективных рельефно-фазовых голограмм, интегральных биосенсеров, а также новых материалов для биомедицины.

Нами получены образцы биополимерных пленок ДНК – органический краситель оптического качества, одним из преимуществ которых является возможность применения для исследования их свойств методов абсорбционной спектроскопии. Исследованы некоторые спектроскопические свойства пленок ДНК – акридиновый оранжевый (АО) методами ИК- и электронной абсорбционной спектроскопии при различных относительных влажностях (о.в.). Изучена возможность управления конформационным состоянием молекул ДНК в биополимерной пленке путем добавления пластификатора.

Известно, что связывание АО с ДНК происходит путем интеркаляции молекул красителя в двойную спираль биополимера с образованием наноконплексов между азотистыми основаниями ДНК и молекулами красителя, а с увеличением концентрации АО молекулы красителя связываются с ДНК по малой бороздке двойной спирали. По мере формирования биополимерной пленки ДНК – АО происходит увеличение доли димеров красителя по сравнению с водными растворами, что можно объяснить разрушением наноконплексов азотистых оснований ДНК с молекулами АО. Подтверждением этому являются данные ИК-спектроскопии, полученные для пленок ДНК-АО при различных относительных влажностях. Известно, что при высоких о.в. (~ 95 %) молекулы ДНК в пленке находятся в нативном, двуспиральном состоянии, т.е. в В-форме. По мере понижения о.в. (< 75 %) происходит частичное расплетение двойной спирали – переход молекулы ДНК в А-форму (4). Эксперименты показывают, что при пониженных о.в. наноконплексы азотистых оснований ДНК с молекулами АО распадаются, и высвобожденные молекулы красителя ассоциируют между

собой, что приводит к увеличению в системе доли димеров. Иная картина наблюдается в пленках ДНК, пластифицированных добавкой глицерина. Данные ИК-спектроскопии показывают, что в данном случае расплетания двойной спирали не происходит и В-форма молекул биополимера сохраняется даже при пониженных о.в.

Полученные результаты свидетельствуют о возможности оценки состояния внедренных молекул красителя и структуры пленок ДНК методами оптической спектроскопии. Так же показано, что использование пластификатора (глицерина) позволяет сохранять двуспиральную форму молекул ДНК в биополимерной пленке при любых значениях о.в.

Работа поддержана грантом РФФИ, номер проекта 07-02-97600-р-офи.

- 1 Благой Ю.П. Взаимодействие ДНК с биологически активными веществами. СОЖ, №10, с.18-24 (1998)
- 2 Абилев С.К. Современное состояние использования краткосрочных тестов для выявления мутагенов и канцерогенов окружающей среды. Современные проблемы биологии и медицины, №2, с. 45-47, Иркутск (2007)
- 3 Евдокимов М.Ю. Жидкокристаллические формы нуклеиновых кислот. Вестник РАН, т. 73, № 8, с. 712-721 (2003)
- 4 В.И. Sukhorukov, М.М. Montrel. Infrared and X-ray diffraction study of the effect of protonation of DNA on its B-to-A transition. Biophys. Chem., 35, pp.47-54 (1990)



# Манаков Н.А., Толстобров Ю.В. Распределение намагниченности в ферромагнитных нанопластинках

Оренбургский государственный университет, Оренбург  
\*Бийский педагогический государственный университет, Бийск

Основные представления о формировании доменной структуры (ДС) тонких ферромагнитных пленок сформировались на основе экспериментальных исследований и теоретических расчетов с применением вариационных методов к концу 70-ых годов прошлого столетия [1,2].

Если в монокристаллах ферромагнетиков, как правило, образуются относительно простые ДС с одномерными доменными границами (ДГ) Блоха, то в пленках наблюдаются более сложные и разнообразные ДС. Наряду с одномерными ДГ Блоха и Нееля формируются двумерные ДГ с поперечными связями, сочетающие элементы Неелевских и Блоховских ДГ.

В связи с этим представляет интерес численный расчет в рамках теории микромагнетизма ДС, реализация которых возможна на тонких пластинках (пленках) ограниченного размера, на основе минимизации функционала свободной энергии магнитной системы:

$$E = \iint_{\mathbf{D}} \left\{ \frac{A}{M_s^2 L^2} \left[ (\nabla m^x)^2 + (\nabla m^y)^2 + (\nabla m^z)^2 \right] + \left[ \frac{K_1}{M_s^2} \left( 1 - (m^x)^2 \right) + \frac{K_2}{M_s^2} \left( 1 - (m^x)^2 \right)^2 \right] - \mathbf{m} \cdot \frac{\mathbf{H}^{\text{ext}}}{M_s} + \frac{1}{2} \mathbf{m} \cdot \nabla U \right\} dx dy,$$

где в подынтегральном выражении записана сумма плотностей энергии обмена, энергии анизотропии, энергии системы во внешнем и собственном магнитных полях;  $M_s = |\mathbf{M}|$ ;  $\mathbf{m} = \mathbf{M}/M_s = (m^x, m^y, m^z)$  - единичный вектор;  $A$  - константа обмена;  $L$  - сторона квадрата;  $\mathbf{D} = 1 \times 1$  - безразмерное поперечное сечение;  $K_1, K_2$  - константы анизотропии;  $\mathbf{H}^{\text{ext}}$  - напряженность внешнего поля.

Потенциал магнитостатического поля  $U$  находится из решения задачи

$$\Delta U = \begin{cases} 4\pi \nabla \cdot \mathbf{m} & \text{внутри кристалла} \\ 0 & \text{вне кристалла} \end{cases}$$

$$\frac{\partial U}{\partial \mathbf{n}} + \frac{\partial U}{\partial (-\mathbf{n})} = -4\pi \mathbf{m} \cdot \mathbf{n} \text{ на границе кристалла,}$$

$\mathbf{n}$  - единичная внешняя нормаль к поверхности кристалла.

С этой целью нами проведены численные расчеты распределения намагниченности в монокристаллических пластинках  $\text{Co}$ ,  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ ,  $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$  ограниченного размера ( $100 \times 50 \times 5 \text{ нм}$ ).

$$\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20} \quad (A = 1.3 \times 10^{-6} \text{ Эрг/см}, \quad K_1 = 5000 \text{ Эрг/см}^3, \quad K_2 = 0 \text{ Эрг/см}^3, \quad M_s = 10^4 \text{ Гс})$$

$Co$  ( $A = 1.3 \times 10^{-6} \text{ Эрг/см}$ ,  $K_1 = 4 \times 10^6 \text{ Эрг/см}^3$ ,  $K_2 = 1.2 \times 10^6 \text{ Эрг/см}^3$ ,  $M_s = 1420 \text{ Гс}$ )  
 $Nd_2Fe_{14}B$  ( $A = 1.7 \times 10^{-6} \text{ Эрг/см}$ ,  $K_1 = 4.5 \times 10^7 \text{ Эрг/см}^3$ ,  $K_2 = 6.6 \times 10^6 \text{ Эрг/см}^3$ ,  $M_s = 1275 \text{ Гс}$ )

В настоящее время широко распространены методы вычисления распределения намагниченности в магнитных системах основанные на минимизации дискретного аналога функционала свободной энергии. Для этой цели обычно используются градиентные методы, которые требуют вычисления частных производных по независимым переменным. В качестве переменных выбираются или компоненты вектора намагниченности  $\mathbf{M}$  или углы, определяющие ориентацию  $\mathbf{M}$ .

Сложность моделирования ДС в ферромагнитных объектах обусловлена неявной зависимостью функционала свободной энергии от векторного поля  $\mathbf{M}$  через потенциал магнитостатического поля. Если градиентные методы применяются без учёта этой зависимости, то встречаются точки (не являющиеся точками локальных минимумов) в которых любое смещение в направлении противоположном градиенту приводит к росту функционала. Такие особенности в ряде работ называют "седловыми точками" или "точками бифуркации", т.е. рассматривают их как точки лабильного равновесия. Однако они могут быть исключены, если при вычислении частных производных принять во внимание неявную зависимость функционала от поля  $\mathbf{M}$ .

Такая методика была развита и апробирована нами для бесконечных и полубесконечных призм квадратного сечения [3,4]. Как показано в работе [4], эта методика может быть использована и для призм конечной длины, а, следовательно, и для тонких пластинок и пленок. В соответствии с этой методикой, расчеты проводились в полной (трехмерной) постановке и квазидвумерной (т.е. в предположении  $\partial M / \partial z = 0$ ,  $z$  – координата, ортогональная плоскости пластинки).

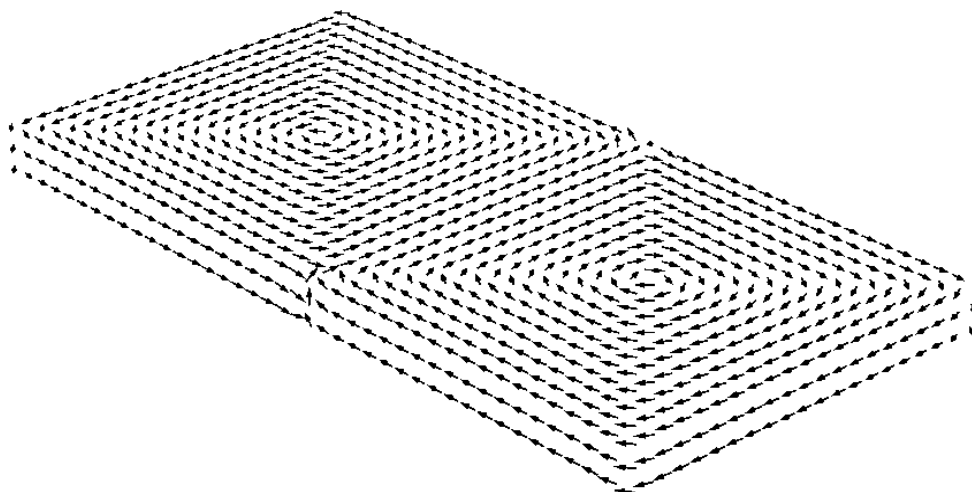


Рис.1. Распределение намагниченности в пластинке  $Ni_{80}Fe_{20}$  (ОЛН нормально плоскости пластинки).

В случае пластинок  $Ni_{80}Fe_{20}$  вследствие малой магнитокристаллической анизотропии ориентация оси легкого намагничивания (ОЛН) ортогонально или параллельно плоскости практически не влияет на характер распределения намагниченности, а основным фактором является анизотропия формы образца. На

рисунках 1, 2 приведены распределения намагниченности для случая, когда ОЛН ортогональна плоскости пластинки.

В зависимости от исходно заданного распределения (т.е. от предыстории образца) возможна вариация распределения намагниченности. На рис. 1 мы видим элементы блоховских, а на рис. 2 – неелевских доменных границ.

Для пластинки  $\text{Co}$  размером  $100 \times 50 \times 5 \text{ нм}$ , с ОЛН ортогонально плоскости, получено распределение (рис. 3), аналогичное показанному на рис. 1, но с большим отклонением намагниченности от плоскости пластинки и небольшой асимметрией. Это обусловлено более высокими значениями констант магнитокристаллической анизотропии  $\text{Co}$  по сравнению с  $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ . Как видно из рисунка возможно образование одного или двух вихрей намагниченности.

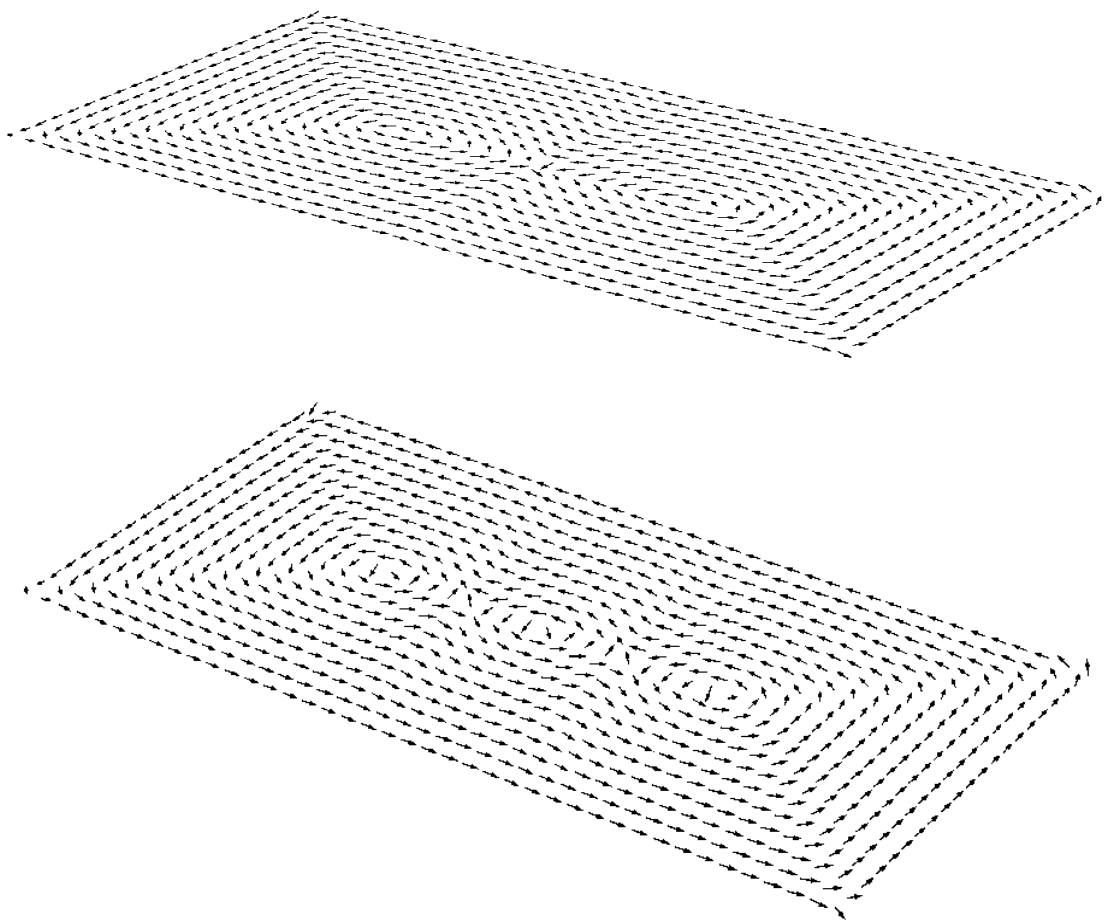


Рис. 2. Распределение намагниченности в пластинке  $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$  (ОЛН нормально плоскости пластинки).

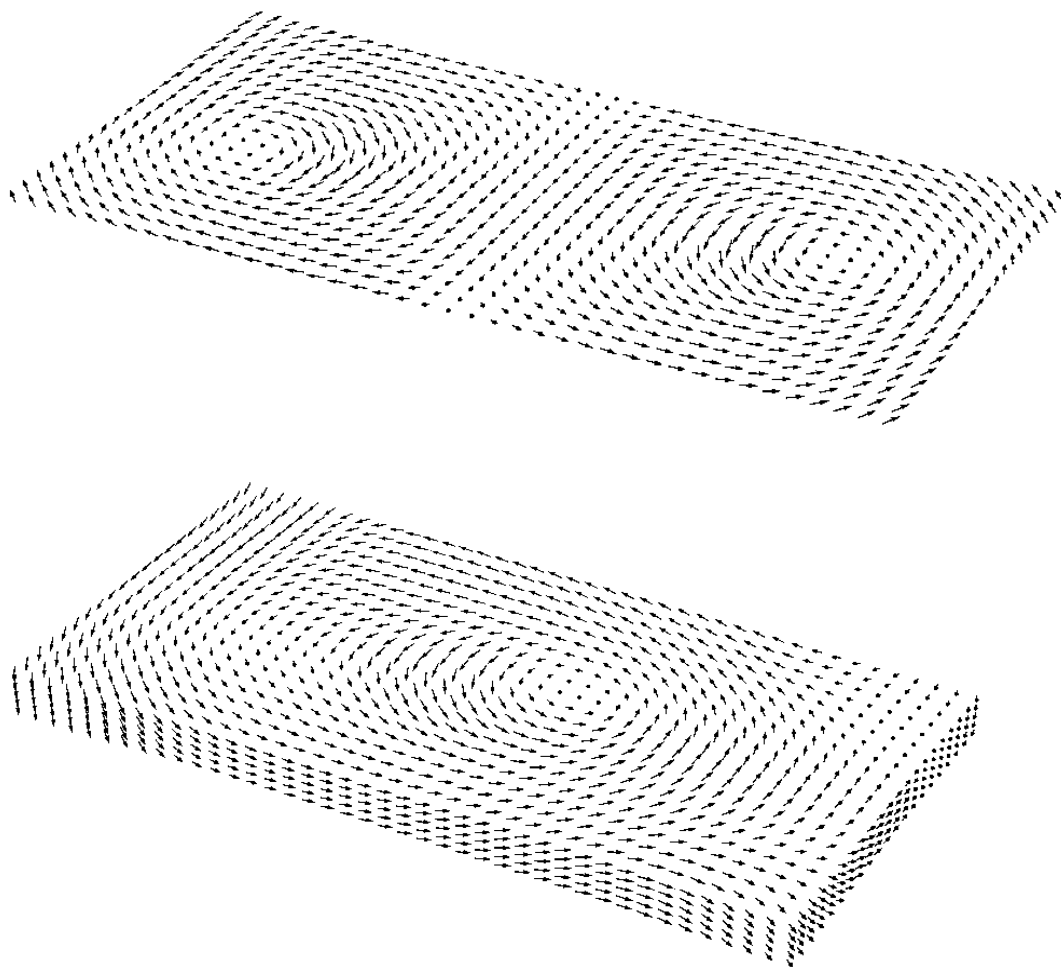


Рис. 3. Распределение намагниченности в пластинке  $\text{Co}$  (ОЛН перпендикулярно плоскости пластинки).

На рисунке 4 представлено распределение намагниченности полученное в случае пластинок  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$  с ОЛН нормально плоскости. В этом случае формируются типичные для массивных ферромагнетиков 180-ти градусные доменные границы.

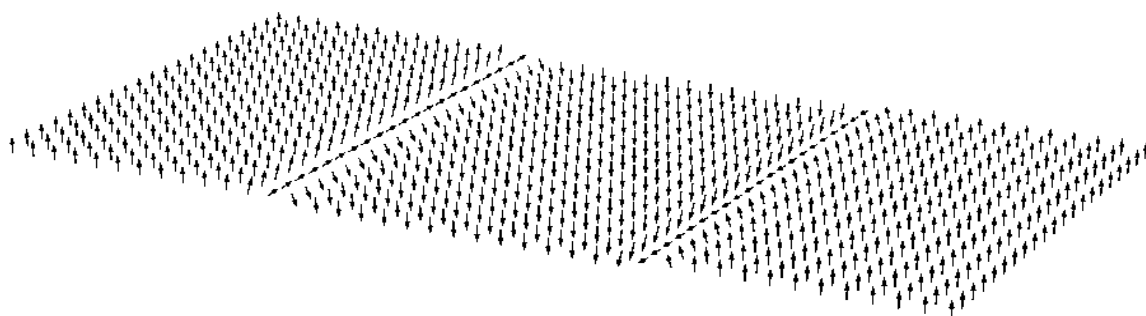


Рис. 4. Распределение намагниченности в пластинке  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$  (ОЛН перпендикулярно плоскости пластинки).

Проведенные расчеты показывают, что разработанная нами методика численного анализа дает адекватное теоретическое описание экспериментальных данных и, в целом, согласуется с результатами, полученными ранее на основе вариационных методов. Эта методика дает возможность расчета дина-

мики распределения намагниченности в процессе перемагничивания пластинок ограниченного размера.

### **Список использованной литературы:**

1. Вонсовский С.В. Магнетизм / М.: Наука, 1971. – 1032 с.
2. Cohen M.S. Ферромагнитные свойства пленок // Технология тонких пленок: Справочник. Под ред. Л. Майссела, Р. Глэнга, Нью-Йорк, 1970. Пер. с англ. Под ред. М.И. Елинсона, Г.Г. Смолко, Т. 2. М.: Сов. Радио, 1977, с. 477-577.
3. Толстобров Ю.В., Манаков Н.А., Черемисин А.А. Влияние метода минимизации функционала свободной энергии на результаты микромагнитного моделирования // ФММ. 2004. Т. 98. № 3. С. 16-22
4. Толстобров Ю.В., Манаков Н.А. Микромагнитное моделирование распределения намагниченности в полубесконечных монокристаллах // ФММ. 2006. Т. 102. № 6. С. 597-601.

# Русинов А.П., Кислов Д.А., Тульских П.А. Особенности термодиффузионных процессов при микросекундной накачке

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург

В предыдущей работе [1] проведено моделирование тепловых и концентрационных полей при дельта-импульсном возбуждении модельной системы, представляющей собой конденсированную матрицу с растворенным в ней легким диффузионным компонентом – молекулярным кислородом. Основной идеей работы был учет термодиффузионного эффекта при расчете концентрационных полей.

Полученные в работе численные оценки свидетельствуют о существенном влиянии термодиффузионного эффекта на локальную концентрацию реагента в конденсированной матрице. Величина данного эффекта при определенных условиях достигала 20-40 %.

Для мониторинга эффективности термодиффузионного обогащения некоторого объема матрицы молекулярным кислородом было предложено использовать сигнал замедленной флуоресценции молекулярных зондов. Эта реакция является диффузионно-контролируемой и нелинейной по концентрации  $O_2$ , так, что даже малые изменения в локальной концентрации молекул кислорода существенным образом изменяют сигнал люминесцентного отклика, как по амплитуде, так и по форме.

Однако проведенные нами аналитические оценки показывают, что для случая дельта-импульсной накачки влияние термодиффузии на сигналы люминесцентного отклика крайне мало. Только для весьма экзотических систем (рис. 1), коэффициент диффузии которых превышает коэффициент температуропроводности на 2 порядка, учет термодиффузии заметно сказывается на оптических сигналах.

Причина этому лежит в том, что, несмотря на сравнительно большую величину эффекта, время жизни нестационарных тепловых и концентрационных структур крайне мало по сравнению с характерными временами формирования люминесцентного отклика и составляет 0.5-1 нс для изотропной неструктурированной матрицы, 5-10 нс для нанопры и 20-30 нс для полимерной глобулы.

В связи с этим, для локального лазерного концентрирования реагента в нужной области представляется более выгодным использовать длительные (более 1 мкс) импульсы накачки. В этом случае облучаемый образец может представлять собой, например, разбавленный раствор полимерных молекул, окрашенных молекулами органического красителя (выполняющего функции теплового сенсibilизатора и люминесцентного зонда одновременно).

Введем мощность объемных тепловых источников как  $f(r, t) \sim n_T(r)fI(t)$ , где  $n_T(r)$  – концентрация молекул красителя в сферически симметричной полимерной молекуле,  $I(t) = I_0$ ,  $0 < t < I \tau$  – интенсивность импульса накачки длительностью  $\tau$ . Тепловое поле  $T(r, t)$  в матрице можно найти, решая уравнение теплопроводности с источниками

$$\frac{\partial T(r,t)}{\partial t} = a^2 \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left( r^2 \frac{\partial T(r,t)}{\partial r} \right) + f(r,t) \quad (1)$$

при начальном условии  $T(r,0) = T_0$ , где  $a^2$  – коэффициент температуропроводности. Концентрационное поле для диффузионно-подвижной компоненты, молекул кислорода, может быть найдено из уравнения диффузии для радиально-распределенной концентрации [2]  $n_{ox}(r,t)$

$$\frac{\partial n_{ox}(r,t)}{\partial t} = D \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left[ r^2 \left( \frac{\partial n_{ox}(r,t)}{\partial r} + \frac{\alpha_T}{T(r,t)} \left( \frac{\partial T(r,t)}{\partial r} \right) n_{ox}(r,t) \right) \right], \quad (2)$$

с начальным условием  $n_{ox}(r,0) = n_0$  и условием в дальней зоне  $n_{ox}(r,t) \xrightarrow{r \rightarrow \infty} n_0$ .

Константы  $D$  и  $\alpha_T$  в уравнении – коэффициент диффузии кислорода и постоянная термодиффузии, соответственно.

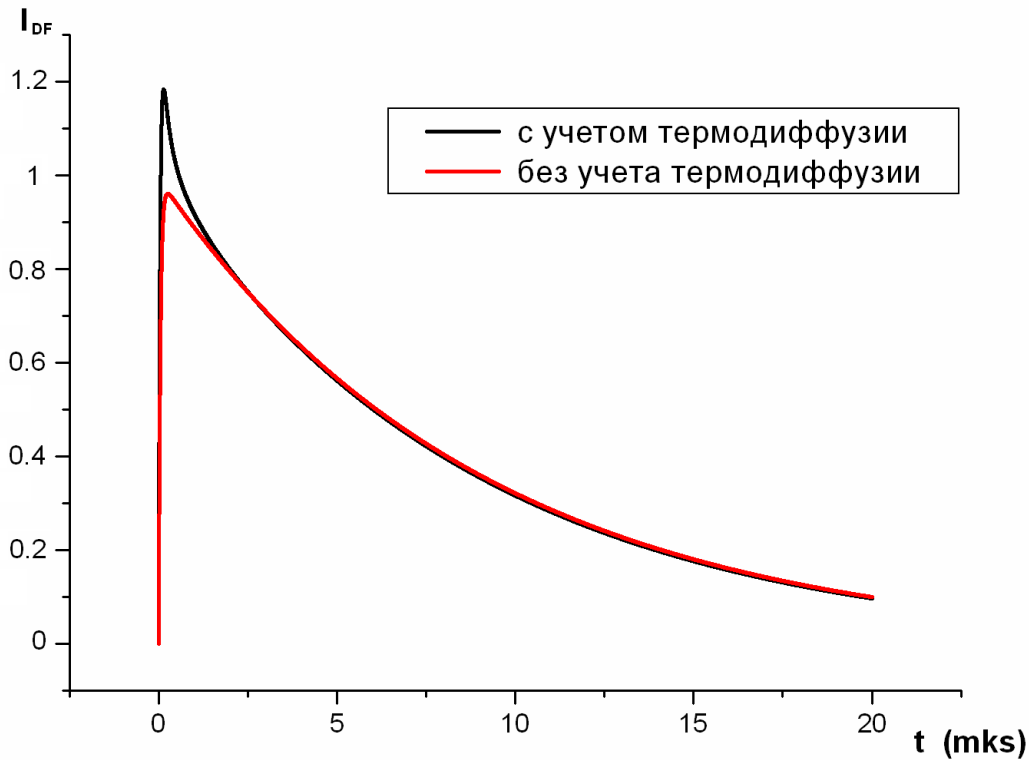


Рис 1. Сигнал замедленной флуоресценции в поре при  $T_0 = 77$  (K),  $D_2 = 4 \cdot 10^{-8}$  (M<sup>2</sup>/c) и  $a_2^2 = 4 \cdot 10^{-10}$  (M<sup>2</sup>/c)

В более сложной постановке задачи необходимо учесть, что и коэффициент диффузии и коэффициент температуропроводности являются координатно-зависящими функциями, причем их значения внутри полимерной молекулы и вовне ее могут отличаться достаточно сильно [3].

Решение уравнений (1)-(2) проводилось численно, методом сеток. Результаты приведены на рис. 2. Из рисунков видно, что при стационарном возбуждении, при сравнимом энергокладе, амплитуда термодиффузионного эффекта примерно равна амплитуде при импульсном возбуждении, при этом время жизни инициированной структуры определяется длительностью импульса на-

качки. В этом случае люминесцентный сигнал от реальных систем при учете термодиффузии испытывает значительные изменения, несколько увеличивается амплитуда сигнала (разгорание) и уменьшается время жизни люминесцентных центров.

Нужно отметить, что при длительностях импульса накачки порядка микросекунд, динамика концентрационного поля очень близка к динамике поля теплового (за исключением незначительного эффекта обеднения периферийных областей), что позволяет при расчете наблюдаемой использовать более простые выражения.

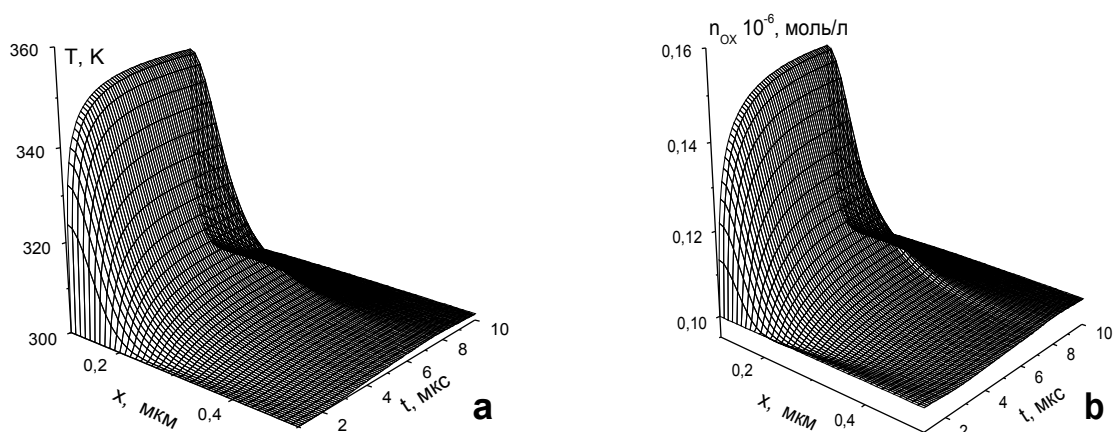


Рис 2. Динамика температурного (а) и концентрационного (б) отклика на длительное фотовоздействие.

Таким образом, в работе проведено моделирование тепловых и концентрационных полей для модельной системы, представляющей собой конденсированную матрицу с растворенным в ней легким диффузионным компонентом при длительном возбуждении. Показана большая применимость данного способа для задач локального концентрирования реагента и дистанционного не возмущающего мониторинга этого процесса.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ ФОИН\_а № 06-08-00168 и гранта Рособразования № 1.3.06 ЕЗН.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кучеренко М.Г., Русинов А.П., Игнатъев А.А., Кислов ДА. Моделирование термодиффузионных процессов в структурированных и однородных матрицах. Труды международной научно-практической конференции «Вызовы XXI века и образование». – Оренбург, ОГУ. 2007.

2. Кучеренко М.Г., Русинов А.П., Человечков В.В. Лазерная термическая интенсификация молекулярных реакций в микропорах. Труды международной научно-практической конференции «Вызовы XXI века и образование». – Оренбург, ОГУ. 2006.

3. Базаров И.П., Геворкян Э.В., Николаев П.Н. Неравновесная термодинамика и физическая кинетика. – М.: Изд. МГУ, 1989. – 240 с.

## Рябина О.Н. Методы выдвижения проблемы при изучении физики

Оренбургский государственный университет, Оренбург.

Традиционная система образования, рассчитанная на «знаниевую» форму подготовки специалистов, сменяется новой образовательной парадигмой, рассматривающей в качестве приоритета высшего образования интересы личности, формирование её эрудиции, компетентности, развитие творческих начал и общей культуры. Её нельзя признать ошибочной, но всё же на первый план сегодня мы должны выдвигать профессиональные знания.

**Ослабление общетехнического и специального образования за счет тотальной гуманитаризации** приводит к резкому сокращению объема учебных часов на освоение и изучение технических дисциплин, что **негативно сказывается на качестве специалиста**. В области образовательной политики должна произойти переоценка значимости специалистов естественно-научного профиля.

Современному студенту учиться на первых курсах сложно, поскольку эксперименты с новыми образовательными программами в средней школе за последние десятилетия привели к потере у выпускников системности в области естественно-научных знаний. Катастрофически низкие знания по математике и физике нынешних студентов вызывают целый ряд негативных последствий в сфере высшего образования. В среде молодёжи начинает доминировать ориентация не на качественное обучение, а на приобретение «галочки» и отметок для получения «корочки».

Следует отметить неоднородность студенческой среды по начальному уровню довузовской подготовки. Естественное стремление преподавателя вложить в студента требуемый планами и программами необходимый минимальный объём знаний приводит к ещё большей дифференциации студентов по уровню знаний. Это может приводить к конфликтным ситуациям между преподавателем и студентом, не способным освоить учебные программы.

В основе конфликта, как правило, лежит дилемма обучающегося: **осознаю, что хочу учиться, но не осознаю, что не могу учиться**. Эта ситуация накладывает особую ответственность на преподавателей, в первую очередь- общетехнических дисциплин. В вузе студент впервые сталкивается с такими предметами, как теоретическая механика, сопротивление материалов и т.д., с основополагающими понятиями, с которыми он ранее не был знаком. Это вызывает у студентов внутреннюю напряженность, требует больших усилий и трудовых затрат. В связи с этим, необходимо создать такую образовательную среду, в которой студенты знают, что им необходимо знать; учатся в процессе не только учебной, но и профессиональной деятельности; умеют учиться в неформальной обстановке; используют разнообразные методы обучения; оцениваются «мягко», на основе рейтинговых систем.

Методические системы образовательного процесса в ВУЗе должны ориентироваться на современные педагогические технологии, в которых реализуются следующие новации:

- в принципах обучения - модульность, обучение до «желаемого результата», индивидуализация, обучение как исследование;
- в формах и методах обучения – активные методы, дистанционное обучение, метод проектов;
- в средствах обучения – автоматизированные и электронные средства, компьютерные системы диагностики знаний.

Эффективность процесса обучения определяется главным образом **активностью познавательной деятельности студентов**. Такая активность естественна и присуща каждому нормальному человеку. Управление учебным процессом на базе инновационных педагогических и информационных технологий как раз и помогает обеспечивать такую активность.

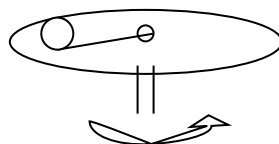
Одним из эффективных методических приёмов при изучении физики является постановка перед студентами определённой проблемы. Нужно стремиться к тому, чтобы занятие по физике в методическом отношении было неожиданностью и тогда по настоящему можно разбудить мысль у студентов. Методы постановки проблемы разнообразны и рассмотрим некоторые из них:

### 1) Использование демонстрационного эксперимента.

Так при изучении вращательного движения рассмотрим следующую задачу:

К стержню, имеющемуся в центре вращающегося вокруг вертикальной оси диска, привязана нить, к противоположному концу которой прикреплен движущийся вместе с краем диска груз.

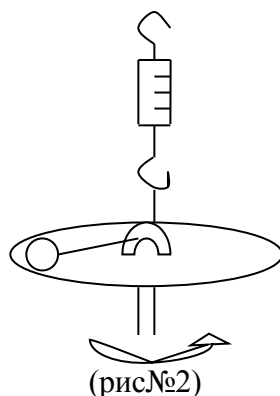
Найдите силу натяжения нити (рис.№1).



(рис.№1)

Понятно, что ,измерив длину нити, массу груза и скорость вращения, студент решит данную экспериментальную задачу; несколько видоизменим задачу: лежащий на краю вращающегося вокруг вертикальной оси диска груз прикреплен к нити, которая продета под душкой, имеющейся в центре диска. С какой силой нужно тянуть другой конец нити вверх, чтобы груз остался на краю диска (рис.№2)?

При такой постановке задачи, применяя динамометр, имеется возможность экспериментальной проверки решения задачи по рис.№1.



## 2) **Использование экспериментальных количественных задач -**

так при изучении закона Ома собирается цепь из аккумуляторной батареи, демонстрационного магазина сопротивлений и амперметра, параллельно магазину сопротивлений включается вольтметр, но амперметр закрывается ширмой. Предлагается вопрос, какой ток показывает амперметр, если видно показание

вольтметра и сопротивления, а далее выясняем зависимость тока от напряжения и сопротивления.

3) **Использование качественных задач**, когда при выдвижении проблемы трудно осуществить выразительный эксперимент. Например, перед изучением зависимости статического давления от сечения трубы в движущихся жидкостях делается чертёж трубки разного сечения и ставится вопрос: одинаковы ли будут показания манометров в разных частях трубки? Если неодинаковы, то в каком месте давление будет больше? Поставленные вопросы анализируются в процессе решения проблемы и подтверждаются экспериментально.

4) **Постановка задач**, связанных с жизненным опытом студентов, а также использование предварительных наблюдений, что несомненно активизирует мысль студентов, их творческую активность.

При изучении физики необходимо освещать проблемы цивилизации наступившего века, демонстрировать особенности творческого процесса исследователя, инженера.

Творческая энергия человека создаёт всё новые и новые биогеохимические циклы, вовлекая в них запасы, накопленные биосферами прошлых тысячелетий и миллионнолетий. Сначала - медь, железо, позднее ископаемые углеводороды. По существу, все технологические цепочки, созданные гением человека, суть новые природные циклы. Они меняют все биосферные ритмы, перекраивают лик Земли, её ландшафты. К началу XX в., по выражению В.Вернадского, человечество превратилось в основную геологообразующую силу планеты. В середине XX в., оно начинает вовлекать в кругооборот веществ в природе те запасы радиоактивных элементов, которые Земля получила в момент своего рождения в виде космического тела. Не будет большим преувеличением считать, что ныне рождается новое космическое тело, обладающее совсем новыми свойствами.

И, несмотря на всё это, несмотря на качественное изменение положения человечества в Природе, изменение характера его взаимоотношений с остальной биосферой и направленности его активной деятельности, несмотря на выделение человека из остальной Природы, человек сохранил своё представление об окружающем мире, которое он имел в эпоху, когда ему приходилось охотиться на мамонтов. Он продолжает рассматривать мир как безграничный резервуар, необъятную кладовую ресурсов, способную удовлетворить все его мыслимые и немыслимые потребности.

Изобреталась новая техника, создавались новые технологии, развивались наука и наше знание об окружающем, но всё это только упрочивало представление о том, что человеку всё дозволено, что его задача научиться «покорять Природу», черпать из её кладовых запасы, которых «уж на наш-то век хватит!»

Человек, как биологический вид, обречён на монополизм. Экологические кризисы неизбежны, поскольку человек сам с неизбежностью будет нарушать равновесие в своих экологических нишах. Даже если человечество и осознает этот факт, оно всё равно будет встречаться с кризисоподобными ситуациями. В самом деле, наши знания об окружающем мире всегда будут отставать от потребностей, связанных с обеспечением коэволюции человека и биосферы. Согласие и воля планетарного общества тем более не смогут достаточно оперативно отвечать действиями планетарного масштаба, необходимыми для восстановления того квазиравновесия, которое и будет означать совместное развитие Природы и Общества. И мы должны быть готовы к рассогласованиям необходимости и реальности, которые и будут означать кризис обитания человека в собственном доме – в биосфере.

Значит, наука и наши знания способны лишь предвидеть надвигающуюся кризисную ситуацию, а неизбежно запоздалые целенаправленные действия только смягчать последствия подобного кризиса, но не устранять его.

Отсюда следует важный тезис. Человеческая деятельность необходимо должна составлять прогностическую составляющую, способную заранее сигнализировать о возможности наступления кризисной ситуации. Таким образом, человечество должно сформировать такую систему обратных связей, которая могла бы обеспечить, по возможности, безболезненное преодоление кризисных явлений. Но это означает, что человечество должно быть так организовано, чтобы быть способным надёжнейшим образом реагировать на предлагаемую систему мер. Такое общество можно назвать рационально организованным.

Утверждение о том, что человечество находится на пороге крупномасштабного экологического кризиса, уже давно стало общим местом и имеет место даже более сильное утверждение: ожидаемый кризис может оказаться такого масштаба, со столь же фундаментальными последствиями, как и кризис, который пережило человечество в неолите. Возможно он тоже будет носить планетарный характер и, если не предусмотреть заранее его возможные проявления, тоже может окончиться десятикратным сокращением числа жителей планеты, а то и исчезновением человека – логическим завершением процесса антропогенеза.

Оснований для такого предположения достаточно. О них уже написано множество работ. Это – и антропогенное загрязнение биосферы (ни один живой вид не может существовать в окружающей среде, составленной из своих от-

бросов ), неизбежное изменение климата, утончение озонового слоя, интенсификация мутагенеза и многое другое, о чём говорится уже не только в научных публикациях. Основная причина кризиса та, о которой говорил ещё 200 лет тому назад монах Мальтус, если только понимать проблему более широко, как принципиальную неустранимость в рамках современной цивилизации рассогласования растущих потребностей растущего населения с возможностями их удовлетворения без изменения существующей экологической ниши и общественных ( т.е. жизнеутверждающих ) парадигм.

Хотя именно развитие техники было одной из причин надвигающегося кризиса, чисто технологических путей его преодоления не существует, а лозунг возврата к Природе был бы абсурдным и крайне опасным. Остановка и даже замедление в совершенствовании технологической основы цивилизации были бы для человечества смертельными. Как никогда нужны новые технологии, снижающие антропогенную нагрузку на биосферу, затраты человеческих усилий на жизнеобеспечение. Силы человеческого интеллекта, руки людей и их воля понадобятся для качественной перестройки общества и целенаправленного поиска новых форм жизни.

Но для того, чтобы использовать потенциал творческих возможностей человека, необходимо, по меньшей мере, два обстоятельства. Во-первых , люди должны осознать надвигающиеся трудности и быть готовыми к большой и напряжённой работе не только во благо своих личных сиюминутных интересов. А во-вторых, они должны быть достаточно образованными для того, чтобы вести направленный поиск.

И то, и другое ставит перед высшей школой, да и перед всей системой УЧИТЕЛЬ совершенно новые задачи. До сих пор её главным назначением было аккумулировать опыт, превращать его в знания и готовить людей, способных передать его обществу. Теперь этого недостаточно.

Опыта перехода к новой ещё малопонятной цивилизации просто нет! Значит система УЧИТЕЛЬ и, прежде всего, университеты, должны готовить не просто специалистов, владеющих экстрактом опыта предыдущих поколений, но готовых к встрече с неизвестным, к непрерывной учёбе и поиску во всех сферах деятельности.

# Рябинина О.Н. Структурные изменения в спеченных объектах и материалах оснастки при электроразрядном спекании

Оренбургский государственный университет, Оренбург

Электроразрядное спекание (ЭРС) металлических порошков, как новая электрофизическая технология в порошковой металлургии, — весьма эффективный метод получения спеченных изделий. Обработка некоторых смесей металлических порошков электроразрядным способом показала, что ЭРС интенсифицирует процессы взаимодиффузии в гетерогенных порошковых композициях. Так, при обработке ЭРС порошковых смесей Cu—Ni, Ni—Mo, W—Mo практически гомогенные сплавы образуются за время от 30 до 90 сек. ЭРС осуществляется путем введения в обрабатываемый порошок пульсирующего тока посредством токоподводящих электродов-пуансонов. Отличительной особенностью ЭРС на начальной стадии процесса является выделение значительной части энергии на межчастичных контактах в виде энергии электрических разрядов, которые генерируются в объеме спекаемого порошка и на контактных поверхностях оснастки. На заключительном этапе процесса ЭРС обрабатываемый порошок подвергается действию тока плотностью до  $10^7 \text{ А/м}^2$  и давления до  $10^9 \text{ Н/м}^2$ , что переводит процесс непосредственно в режим горячего прессования. На контакте электрод — спекаемый порошок развиваются высокие температуры и давления; это приводит к пластической деформации материала электродов-пуансонов, его разупрочнению и окислению. Окисление рабочей поверхности электродов-пуансонов увеличивает сопротивление контакта электрод — спекаемый порошок, ведет к значительному нагреву материала электродов-пуансонов, что, в свою очередь, увеличивает ползучесть и способствует зарождению поверхностных межзеренных трещин. Кроме того, на контактной поверхности вероятно возникновение электрических разрядов, вызывающих эрозию рабочей поверхности электрода-пуансона.

Итак, основные требования, предъявляемые к материалам электродов-пуансонов, можно сформулировать следующим образом:

1. Высокая прочность и низкая ползучесть при повышенных температурах;
2. Высокая электропроводность, термо- и окалинотойкость;
3. Высокая разгаростойкость и эрозионная стойкость;
4. Низкая способность к взаимодействию со спекаемым материалом.

В различных схемах ЭРС используют матрицы как проводящие, так и изолирующие. Процессы, происходящие на контактной поверхности матрицы — спекаемый порошок, в основном аналогичны таковым на контакте пуансон — спекаемый порошок, так что требования, сформулированные выше, применимы и к материалам матриц с учетом их электрических свойств. Целесообразно использовать для матриц материалы менее электропроводные, чем для электродов-пуансонов. Кроме перечисленных требований, материалы оснастки должны обладать малой теплопроводностью (для уменьшения потерь тепла), близкими коэффициентами теплового расширения (для предотвращения заклинивания

или появления зазоров). Следует также учитывать, что материалы оснастки должны поддаваться механической обработке.

В настоящей работе как материалы электродов-пуансонов исследовались графит марки МПГ-6, сталь 3Х2В8Ф, бронза БрХ0,7, вольфрамо-медный псевдосплав. Материалами матриц служили электротехнический асбоцемент, нитрид кремния с добавками окиси магния и нитрида бора. Последний, полученный горячим прессованием, после соответствующей механической обработки использовался в виде вставок в асбоцементный бандаж.

ЭРС проводилось на установке сконструированной и изготовленной в ИПМ АН Украины. Спекали порошки меди, смеси порошков меди и никеля (50—50 вес. %), никеля и молибдена (80—20 вес. %), вольфрама и молибдена (50—50 вес. %), молибдена и хрома (70—30 вес. %). Продолжительность работы электродов-пуансонов оценивалась числом циклов спеканий. Следует учитывать, что при спекании различных материалов энергетические и механические режимы процесса различны. Эти режимы находились в диапазонах для эффективной плотности тока от  $3 \cdot 10^6$  до  $8 \cdot 10^6$  А/м<sup>2</sup> и давления от  $2 \cdot 10^6$  до  $1,5 \cdot 10^8$  Н/м<sup>2</sup>. Спеченные образцы из порошковых смесей подвергали рентгеновскому анализу для выяснения степени их гомогенности и состава поверхностного слоя. Материалы оснастки исследовали металлографическим и рентгеновским фазовым методами. В некоторых случаях измерялась также твердость. В серии экспериментов была выяснена стойкость электродов-пуансонов из различных материалов. Эта стойкость оценивалась по способности электродов-пуансонов сохранять приданную им форму и отсутствию припекания их к спекаемому объекту в процессе ЭРС. Обнаружено, что электроды-пуансоны из бронзы БрХ0,7, композиции W—Cu в начальных циклах ЭРС теряют свою форму, окисляются и взаимодействуют со спекаемыми объектами. Металлографическим исследованием выяснено, что на контактной границе системы сталь 3Х2В8Ф — смесь Cu — Ni образуется зона взаимодействия толщиной 40—50 мкм. Микротвердость зоны —  $(158 - 276) \cdot 10^7$  Н/м<sup>2</sup>, спеченного сплава Cu — Ni —  $136 \cdot 10^7$  Н/м<sup>2</sup>, стали 3Х2В8Ф —  $490 \cdot 10^7$  Н/м<sup>2</sup>. Нанесение графитовой смазки на рабочую поверхность электрода-пуансона уменьшает схватывание его со спекаемым порошком. Однако ее не всегда можно применять, так как графит загрязняет спекаемые изделия. При ЭРС композиции W—Mo, вследствие большого электросопротивления этих смесей, в зоне спекания развиваются высокие температуры. Это приводит к интенсивному выгоранию внутренней полости матрицы из асбоцемента и к расплавлению металлических электродов-пуансонов.

Кроме факторов, приводящих к деструкции оснастки, большое значение имеют тепловые характеристики ее материалов. При ЭРС смеси порошков Ni—Mo с использованием электродов-пуансонов, изготовленных из материалов с различными тепловыми характеристиками (графит, сталь, бронза), установлено, что степень гомогенности спеченного сплава зависит не только от интегральной энергозатраты, но и от тепловых свойств материала оснастки. На рис. 1 представлены профили рентгеновских линий (110) молибдена и (111) никеля, снятых в Cu — K<sub>α</sub> — излучении на дифрактометре ДРОН-0,5.

ЭРС никель-молибденовой смеси при удельных энергозатратах ( $E=5,2 \cdot 10^{12}$  А<sup>2</sup>·сек/кг·м) с использованием электродов-пуансонов из бронзы



БрХ0,7 приводит к началу взаимодействия в системе. Применение электродов-пуансонов из стали 3Х2В8Ф для ЭРС этой смеси при значительно меньших удельных энергозатратах ( $E=1,1 \cdot 10^{12} \text{ А}^2 \cdot \text{сек/кг} \cdot \text{м}$ ) увеличивает степень гомогенности сплава. Графитовые электроды-пуансоны (графит марки МПГ-6) при наименьших удельных энергозатратах на ЭРС ( $E=0,8 \cdot 10^{12} \text{ А}^2 \cdot \text{сек/кг} \cdot \text{м}$ ) обеспечивают получение высокой степени гомогенности никель-молибденового сплава. Противоречивость этих данных, с точки зрения связи интегральной энергии, введенной в образец, со степенью его сплавообразования, объясняется, по-видимому, разным значением коэффициентов теплопроводности и их зависимостью от температуры для этих материалов.

В процессе ЭРС весь узел спекания (электроды-пуансоны, спекаемый порошок, матрица) работает в нестационарном тепловом режиме. Коэффициент теплопроводности бронзы с увеличением температуры растет, что приводит к усилению отвода тепла от спекаемого образца с течением времени спекания, поэтому увеличение времени пропускания тока не сказывается эффективно на степени гомогенности сплава. Коэффициент теплопроводности стали слабо зависит от температуры, вследствие чего увеличение времени спекания приводит к некоторому повышению гомогенности сплава. Уменьшение коэффициента теплопроводности с ростом температуры для графита способствует наилучшим тепловым условиям в узле спекания. Этот факт иллюстрируется тем, что при минимальной энергозатрате достигается максимальная степень гомогенности спеченных сплавов при использовании графитовых электродов-пуансонов. В этом случае необходимо учесть, что высокое удельное электросопротивление графита по сравнению с удельным электросопротивлением стали и бронзы обеспечивает значительно большее тепловыделение в узле спекания. Во всех опытах материалом матриц служил электротехнический асбоцемент.

Кроме тепловых свойств, одним из важных технологических факторов, определяющих пригодность данного материала для электродов-пуансонов при ЭРС металлических порошков, является его способность сохранять приданную форму и механические свойства в условиях термического и механического воздействия. На рис. 2, а приведены изменения диаметра цилиндрических электродов-пуансонов из стали 3Х2В8Ф и графита МПГ-6 при спекании медного порошка. Диаметр нижнего стального электрода-пуансона увеличивается значительно быстрее за счет большего выделения тепла вследствие повышенного контактного сопротивления границы раздела нижний пуансон — спекаемый порошок (механическая нагрузка осуществляется по схеме одностороннего прессования сверху) и уменьшения теплоотвода в окружающую среду (нижний пуансон полностью находился во внутренней полости матрицы). Более быстрое уменьшение диаметра верхнего электрода-пуансона из графита по сравнению с диаметром нижнего объясняется более интенсивным выгоранием его при взаимодействии с воздухом и механическим износом.

В процессе эксплуатации твердость стальных электродов-пуансонов падает (рис. 2, б). Наибольший спад твердости наблюдается на нижнем электроде-пуансоне, он же испытывает наибольшие изменения формы.

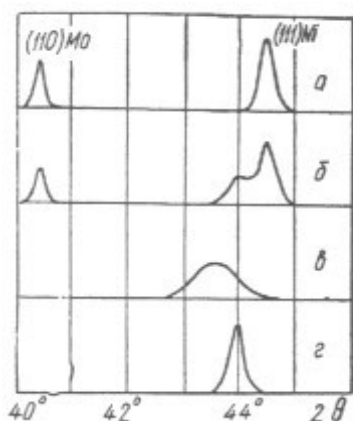


Рис. 1. Дифрактограммы никель-молибденовых образцов. Сплав получен при использовании электродов-пуансонов из бронзы БрХ0,7 (б) из стали 3Х2В8Ф (в), из графита МПГ-6 (г), а — исходная смесь.

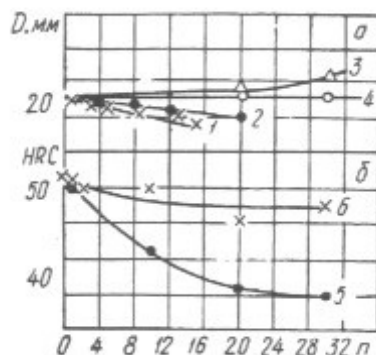


Рис. 2. Зависимость изменения диаметра  $D$  (а) и твердости (б) электродов-пуансонов из стали 3Х2В8Ф и графита МПГ-6 от числа циклов спекания  $n$ : 1,2 — верхний и нижний электроды-пуансоны из графита; 3,5 — нижние и 4,6 — верхние электроды-пуансоны из стали.

Разупрочнение стальных электродов-пуансонов в процессе их эксплуатации, приводящее к потере твердости и формы материала, является следствием структурных изменений, происходящих в этих деталях оснастки. Фазовый рентгеновский анализ электродов-пуансонов исходного и после 30 циклов спекания медного порошка показал, что в структуре этой стали имеется карбид  $Fe_3W_3C$ , причем линии его выявляются более четко в работавшем электроде-пуансоне (рис. 3б). Дебаграммы, полученные с осадков, собранных при анодном растворении исходного и эксплуатировавшегося электродов-пуансонов, показали, что фазовый состав стали 3Х2В8Ф не изменяется, выделенный карбид соответствует составу  $Fe_3W_3C$ . Металлографическим исследованием установлено, что в процессе эксплуатации этой стали в качестве электродов-пуансонов, при ЭРС происходит коагуляция карбидных частиц.

В исходном электроде-пуансоне карбидные включения в основном были размером от 1 до 4 мкм и распределены равномерно. В работавшем электроде-пуансоне размеры карбидных включений колеблются от 4 до 20 мкм, причем распределение их неравномерное. Это усиливает карбидную неоднородность, что приводит к зарождению трещин и к разупрочнению этой стали. Кроме структурных изменений в сталях, приводящих к разупрочнению материала электродов-пуансонов в процессе их эксплуатации при ЭРС, на поверхности их контакта со спекаемым порошком наблюдается эрозионный износ, причем более интенсивно эродирует катодный электрод.

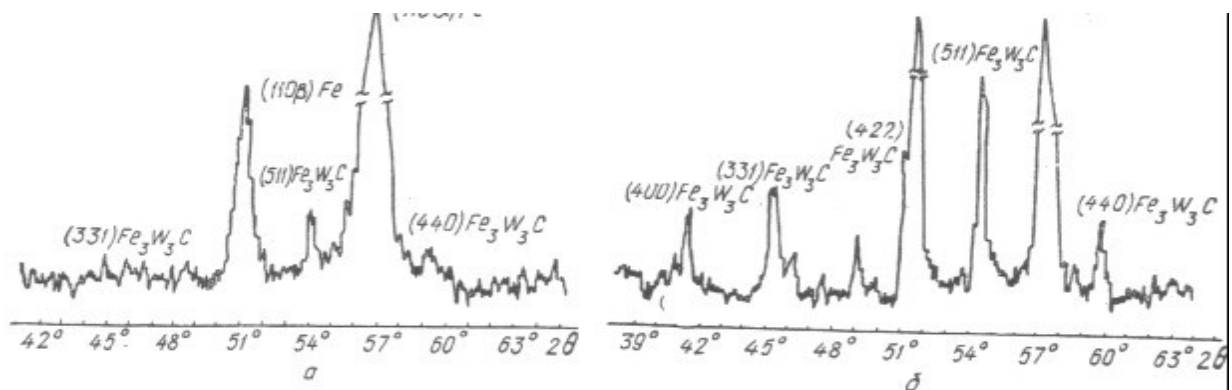


Рис. 3. Рентгенограммы электрода-пуансона из стали 3X2B8Ф исходного (а) и после 30 циклов спеканий (б).

При ЭРС в режиме малых давлений на контактной поверхности электрода-пуансона со спекаемым порошком в результате действия энергии электрических разрядов наблюдается частичное подплавление обрабатываемого порошка и адгезия его к поверхности электрода-пуансона. Рентгеновский анализ показал, что при ЭРС смеси Ni—Mo на пуансонах из стали 3X2B8Ф образовался слой, состоящий из Mo, Ni и интерметаллида Fe<sub>7</sub>Mo<sub>6</sub>. Как указывалось выше, ЭРС смесей порошков тугоплавких металлов W—Mo в асбоцементной матрице с графитовыми электродами-пуансонами затрудняется тем, что в процессе спекания происходит деструкция применяемой оснастки и интенсивное взаимодействие ее материалов со спекаемыми объектами. Рентгеновский анализ спеченных образцов показал, что обработка такой композиции электро-разрядным методом приводит к заметному диффузионному взаимодействию (рис.4).

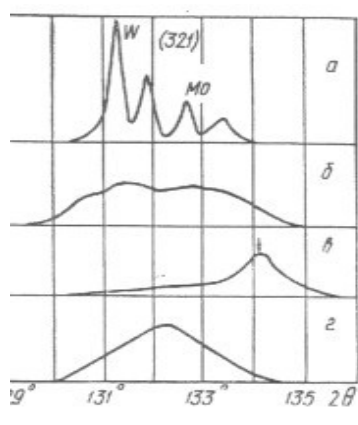


Рис 4. Фазовые и концентрационные изменения при ЭРС смеси порошков W—Mo с пуансонами из графита. Дифрактограммы: а) от исходной смеси; б) от поверхности вольфрам-молибденовых образцов (321) Cu — K<sub>α</sub> полученных ЭРС с  $E = 3,7 \cdot 10^{11} \text{ A}^2 \cdot \text{сек}/\text{кг} \cdot \text{м}$ ; в) снятая от не шлифованной поверхности вольфрам-молибденовых образцов при  $E = 4,8 \cdot 10^{11} \text{ A}^2 \cdot \text{сек}/\text{кг} \cdot \text{м}$  (стрелкой указано положение рефлекса (213) карбида молибдена Mo<sub>2</sub>C); г) то же, после сошлифовывания поверхности образца.

Увеличение энергозатрат до  $E = 4,5 \cdot 10^{11} \text{ A}^2 \cdot \text{сек}/\text{кг} \cdot \text{м}$  ( $t = 105 \text{ сек}$ ) ведет к появлению карбидов на поверхности образца (рис.4, в), однако в глубине его образуется неомогенный сплав, преимущественное количество которого имеет параметр решетки  $a = 3,1548 \text{ \AA}$  ( $2\theta = 132^\circ 13'$ ), что соответствует среднему составу (см. рентгенограмму 4,г, снятую с этого образца после сошлифовывания с

его поверхности слоя толщиной 1 мм). Дальнейшее увеличение времени спекания этой системы существенно влияет на процесс образования карбидов вольфрама и молибдена на поверхности спекаемых образцов. Рентгенофазовый анализ вольфрам-молибденового сплава, использующий съемку в Cu—K<sub>α</sub> - излу-

чении от необработанной поверхности образца, показал наличие на этой поверхности карбидов вольфрама  $WC$  и  $W_2C$  и карбида молибдена  $Mo_2C$ . Аналогичное явление наблюдается при ЭРС системы молибден—хром с той лишь разницей, что карбиды хрома распределяются в более глубоких слоях.

**Савченков Э.А., Шашкова Л.В., Шашкова В.К.**  
**Строхастические осцилляции характеристик тонкой структуры и**  
**эволюция микроструктуры в нестационарной диффузионной**  
**системе «метал-водород»**

**Оренбургский государственный университет, г. Оренбург**

Развитие физики в последние десятилетия привело к важным открытиям и формированию парадигмы самоорганизации диссипативных структур в нелинейных системах. Новая парадигма связывает свойства материалов не с исходной, а динамической микро - и мезоструктурой, самоорганизующейся в неравновесных условиях. Динамика трансформации старой структуры, потерявшей устойчивость, в новую контролируется принципами синергетики. В условиях самоорганизации возникает оптимальная фрактальная структура, необходимая для дальнейшего функционирования системы.

Системы металл (сталь) - водород являются открытыми, что приводит к диссипации энергии и порождает нелинейное поведение таких систем. Особенно ярко нелинейные синергетические эффекты проявляются на стадии нестационарной диффузии (при нарастании потока) водорода при комнатных температурах, например, [1-4]. В работах [1,3,4] установлено, что массоперенос электрохимического водорода через кристаллическую решетку феррита при комнатной температуре создает ориентированные, преимущественно по линиям дифракции (110), деформации кристалла, причем величина локальных микронапряжений может превышать сопротивление сдвигу дислокаций. Водород инициирует диффузионно-вязкую или сдвиговую микропластичность. В перлите наблюдали дробление и диссоциацию пластинок цементита [1].

Рентгеноструктурный анализ показал, что по мере наводороживания происходят релаксационные осцилляции тонкой структуры феррита. Происходят стохастические смещения дифракционных максимумов линий (110), (211), (220), что свидетельствует о колебаниях соответствующего межплоскостного расстояния и, следовательно, периода кристаллической решетки. Изменение периода наблюдалось в пределах  $10^{-2} - 10^{-3}$  Å. Максимальные смещения дифракционных максимумов линий происходят на стадии нестационарной диффузии в первые 1 – 2 ч наводороживания, четко выражена анизотропия. Наибольшее смещение дифракционных максимумов наблюдается по линии (110), затем по (211) и незначительное по (220). Наблюдаются стохастические изменения относительной интенсивности исследуемых линий, а также физического уширения [3].

В продолжение исследований изучали влияние диффузионного движения электрохимического водорода через мембраны на структурные превращения стали, находящейся в различном исходном состоянии. Сводка структур и режимов термической обработки стали перед наводороживанием приведена в таблице 1. Структурные исследования выполнены по методикам [4].

Таблица 1. Режимы термообработок и структуры стали

№ режима	Материал	Обработка материала	Структура
1	Сталь 20	Отжиг при 920°C – 1 час, охлаждение с печью	Равновесная, неоднородная, после перекристаллизации (феррит + перлит)
2		Отпуск при 680°C – 1 час, охлаждение с печью + пластическая деформация растяжением ~ 5 %	Содержит дефекты после пластической деформации (незакрепленные)
3		Отпуск при 680°C – 1 час, охлаждение с печью	Неоднородная, (феррит + перлит). Остаточные микронапряжения
4		Нагрев при 920°C – 5 мин, закалка в воду + отпуск при 120°C – 1 час, охлаждение на воздухе	Гомогенизация структуры, закрепление закалочных дефектов при старении
5		Нормализация + взрывная обработка косой ударной волной P = 4 ГПа + отпуск при 300°C – 1 час (ВЗТО)	Метастабильная структура феррита после взрыва, частичное растворение цементита
6		Нормализация + взрывная обработка косой ударной волной P = 4 ГПа + отпуск при 620°C – 1 час (ВЗТО)	Ячеисто-полигональная структура дислокаций. Равномерное распределения дисперсных выделений по ячеистой субструктуре
7	30 ХМА	Нагрев при 880°C – 20 мин, закалка в воду + отпуск при 300°C – 40 мин	Метастабильная переходная структура (бейнит)
8		Нагрев при 880°C – 20 мин, закалка в воду + отпуск при 680°C – 40 мин (улучшение)	Структура равновесная, однородная (сорбит)

Проводилась обработка экспериментальных результатов рентгеноструктурного анализа. Измеряя ширину интерференционных линий, полученных от плоскостей (110) и (220) определяли их отношение  $\frac{\beta_{220}}{\beta_{110}} = K$ . Одновременно

для этих линий вычисляли отношения  $\frac{\sec \theta_{220}}{\sec \theta_{110}}$  и  $\frac{\operatorname{tg} \theta_{220}}{\operatorname{tg} \theta_{110}}$ , которые в нашем случае равны соответственно 3 и 6.

Известно [5-6], что при условии  $\frac{\sec \theta_{220}}{\sec \theta_{110}} < K < \frac{\operatorname{tg} \theta_{220}}{\operatorname{tg} \theta_{110}}$ , уширение обусловлено измельчением областей когерентного рассеяния (ОКР) и микронапряжениями. Если экспериментально определенное  $K \leq 3$ , то это дает основание сделать вывод, что расширение интерференционных линий обусловлено измельчением ОКР, а если  $K \geq 6$ , то их расширение вызвано микронапряжениями.

Если уширение  $\beta$  вызвано только микронапряжениями ( $K \geq 6$ ), величина искажения параметра решетки в направлении перпендикулярном плоскости отражения (hkl) может быть вычислена по формуле наиболее точно при больших  $hkl_{220}$ ,  $hkl_{211}$  [6]:

$$\frac{\Delta a}{a} = \frac{\beta}{4 \operatorname{tg} \theta_{hkl}} \quad (1)$$

Если уширение  $\beta$  вызвано только измельчением ОКР, то размер ОКР (блоков) в направлении нормальном к hkl может быть вычислен по формуле [6]:

$$D_{hkl} = \frac{0,94\lambda}{\beta_{hkl} \cdot \cos \theta_{hkl}} \quad (2),$$

где  $\lambda = 1,932 \text{ \AA}$  для  $K_{\alpha}$  - излучения железа;  $\cos \theta_{110} = 0,8792$  [7].

Сводка результатов влияния диффузии водорода на тонкую структуру стали представлена на рисунках 1 и 2. Можно видеть, что в первые 1 - 2 часа нестационарной диффузии водорода происходят стохастические релаксационные осцилляции межплоскостного расстояния кристаллической решетки по линии (110), микронапряжения релаксируют с образованием ОКР. Картина аналогична для стали 20 и 30ХМА. Исходная структура стали влияет на характер релаксации. Например, период кристаллической решетки по наиболее чувствительной линии (110) под влиянием диффузии водорода изменяется в отрицательную сторону (эффект сжатия). Однако сталь 20 после 5% деформации растяжением имеет увеличенный период  $\Delta a/a$  по линии (110), и диффузия водорода инициирует пластическую релаксацию. Бейнит стали 30ХМА (режим 7) под влиянием диффузионного движения водорода к пластической релаксации не чувствителен. Изменения интенсивности (рис. 2) и рост искажений кристаллической решетки могут свидетельствовать о том, что диссипативные процессы в структуре бейнита происходят с образованием микротрещин.

Размеры ОКР изменяются в пределах  $0,4 \div 0,8 \div 3,0$  мкм у стали 20 и улучшенной стали 30ХМА. В качестве примера приведем расчет размера ОКР по экспериментальным данным рентгеноструктурного анализа. Возьмем сталь 20 (закалка в воду + отпуск  $120^{\circ}$ ). Время наводороживания – 2 часа.  $K = 3$ , это дает основание сделать вывод, что расширение интерференционных линий обусловлено измельчением ОКР (образованием блоков). Как отмечалось выше, для

$K_\alpha$  - излучения железа  $\lambda = 1,932 \text{ \AA} = 1,932 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ ,  $\cos\theta_{110} = 0,8792$ . Для данного режима  $\beta_{110} = 0,25 \cdot 10^{-3} \text{ рад}$ . Тогда по формуле (2) определяем размер ОКР:

$$D_{hkl} = \frac{0,94\lambda}{\beta_{hkl} \cdot \cos \theta_{hkl}} = \frac{0,94 \cdot 1,932 \cdot 10^{-10}}{0,25 \cdot 10^{-3} \cdot 0,8792} = 8,26 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 8260 \text{ \AA}.$$

Для высокопрочной стали 30ХМА размер ОКР равен 0,004 мкм, что подтверждает стесненность пластической релаксации в структуре бейнита.

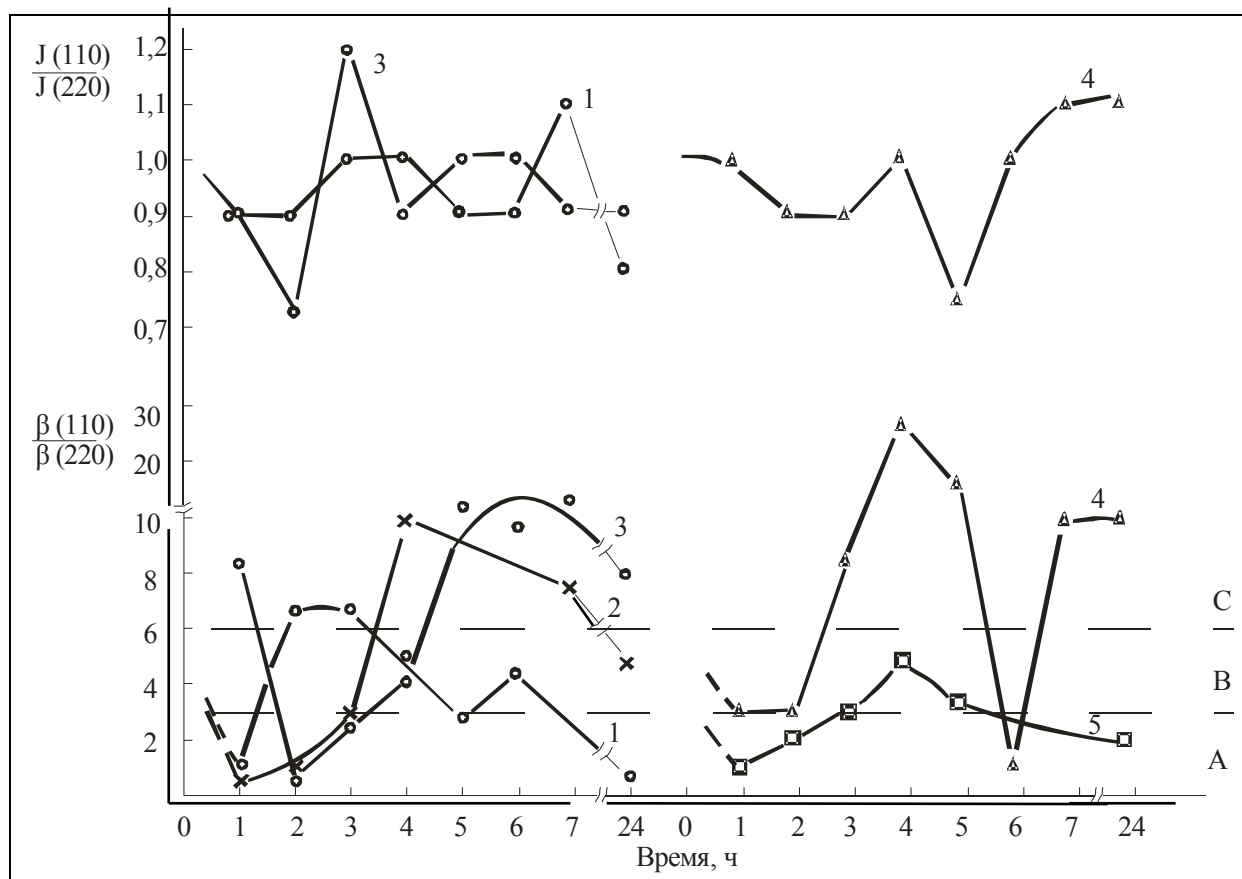


Рисунок 1. Изменение параметров тонкой структуры феррита *in situ* при диффузии водорода через мембраны толщиной 0,5 мм из стали 20. Номера графиков соответствуют режимам термообработки стали по табл.1; А, В, С -- области дефектов с выделением ОКР, совместно ОКР и микронапряжений и только микронапряжений соответственно; 24часа -- время выдержки (дегазации) мембран после слива электролита.

Таким образом, индуцированная водородом структурная релаксация происходит на атомном и субзеренном масштабных уровнях.

Выдержка мембран в течение суток на воздухе ведет к эффузии подвижного водорода из металла и неполному восстановлению характеристик тонкой структуры. Полной обратимости не происходит. Ячеисто-полигональная субструктура стали 20 после ВЗТО (режим б) имеет наиболее выраженную водородостойкость.



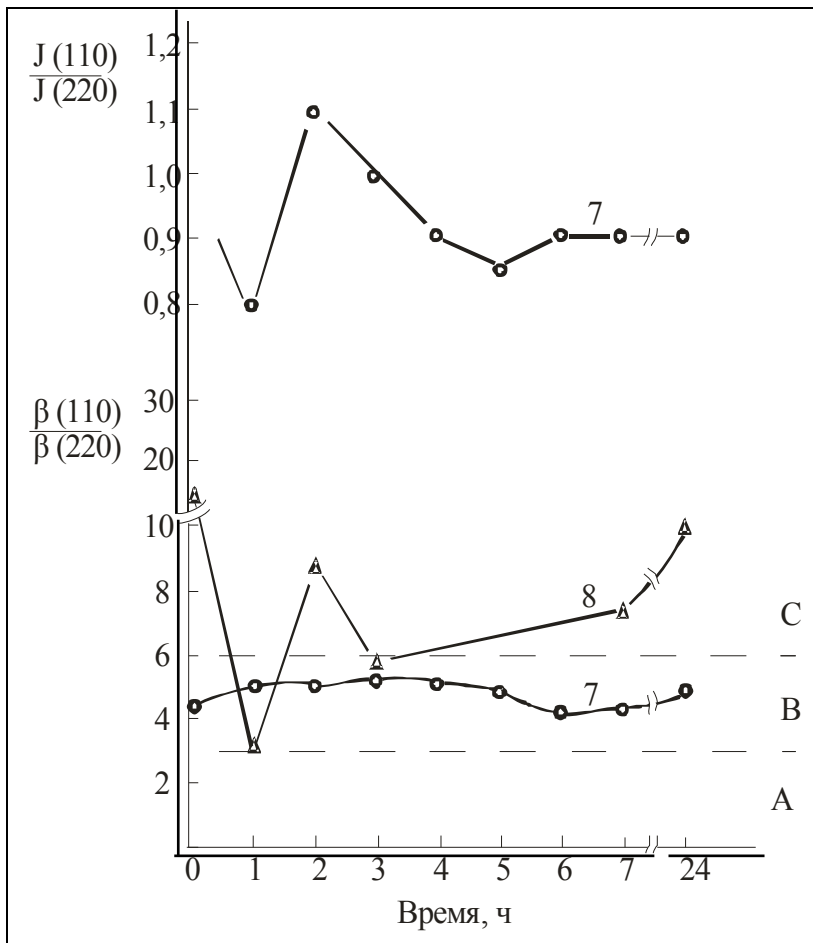


Рисунок 2. Изменение параметров тонкой структуры феррита стали 30ХМА *in situ* при диффузии водорода через мембраны (0,5 мм). Номера графиков соответствуют данным табл. 1; области А, В, С те же, что на рис.1; 24 часа - время дегазации мембран.

Интегральная интенсивность дифракционных рефлексов по наиболее чувствительным линиям (НКЛ) при наводороживании стали уменьшается, что свидетельствует о влиянии диффузионного дрейфа водорода на смещение атомов металла. Увеличение интенсивности отмечалось при наводороживании стали 20, подвергнутой гомогенизации при закалке и старению при 120°C, и стали 30ХМА со структурой бейнита. Характерны немонотонные изменения относительной интенсивности за время диффузионного движения водорода (рисунки 1,2). Аномально быстрый диффузионный дрейф водорода через кристаллическую решетку инициирует динамические смещения атомов, создает сеть дефектов и микронапряжения, стимулирует движение вакансий, реакции между дислокациями, активирует источники генерации дислокаций. Водород может оседать на дефектах структуры. В [4] методом электронной микроскопии показано, что неравномерная нестационарная диффузия (первые два часа наводороживания) ведет к миграции границ зерен, декорированию дислокаций и субструктуры, образованию пористости и другим диссипативным перестройкам микро-структуры.

На рисунке 3 представлены результаты электронно-микроскопического анализа исходного и наводороженных образцов, из которых следует, что диффузия водорода приводит к разбиению зерен перлита на области когерентного рассеяния ОКР (блоки), т. е. к фрагментации и образованию субзеренной структуры перлита. Обращает на себя внимание тот факт, что субзерна перлита разориентированы. Таким образом, результаты электронно-микроскопического анализа подтверждают расчеты, произведенные на основании данных, полученных рентгеноструктурным методом.

Металл или сплав относится к классу "пассивных" систем. Источником свободной энергии является нестационарный поток водорода при наводороживании. Экспериментально установлено, что нестационарный водород гиперподвижен. При комнатной температуре его коэффициент диффузии в  $\alpha$ -железе на 12-13 порядков выше, чем других примесей внедрения, и в  $10^{20}$  –  $10^{30}$  раз превышает коэффициент самодиффузии атомов железа. В процессе наводороживания в кристалл закачивается свободная энергия, которая расходуется на работу микродеформации, создание упругих искажений и дефектов кристаллической решетки, а также диссипацию в виде тепла. Водород в случае нестационарной диффузии переводит металл в неравновесное, неустойчивое состояние. Неустойчивое состояние системы металл-водород характеризуется изменениями и перестройкой электронно-энергетического и фононного (атомного) спектра кристалла. Диффузионно-подвижный водород, имеющий высокий термодинамический потенциал, стимулирует перенос вакансий. Разупрочнение металла подвижным водородом является экспериментальным фактом, например [2] и др.

Рост микронапряжений приводит к автокаталитическому размножению дефектов. Установление когерентной связи между ними приводит к коллективным эффектам, не позволяющим рассматривать дислокации и вакансии обычным образом. Принципиально важным является самосогласованный характер поведения ансамбля движущихся дислокаций и вакансий – обусловленное вакансиями облегчение процесса локального переползания дислокаций приводит к усилению их генерации движущимися дислокациями. Как отмечается в [8] автокаталитический характер такого процесса может привести к развитию ротационно-сдвиговой неустойчивости пластического течения.

В системах металл-водород наглядно демонстрируется критерий эволюции открытых систем. Первоначально устойчивая диссипативная структура достигает в процессе эволюции порога неустойчивости, начинает осциллировать, а возникающие в ней флуктуации приводят к самоорганизации новой, более устойчивой на данном иерархическом уровне диссипативной структуры. При этом с ростом степени неравновесности структура открытой системы, как правило, измельчается [9]. Действительно, полученные в ходе электронно-микроскопических и рентгенографических исследований, данные свидетельствуют о том, что структура измельчается. Система металл-водород в состоянии неравновесности (на стадии нестационарной диффузии) самоорганизуется с образованием диссипативной оптимальной структуры (в данном случае – фрагментированной), необходимой для дальнейшего функционирования системы как целой. Однако исходная структура стали влияет на кинетику превращений при нестационарной диффузии водорода. Как отмечалось выше, в случае высокопроч-

ной стали диссипативные процессы в структуре бейнита происходят с образованием микротрещин. Таким образом, все зависит от адаптационной способности структуры разгрузить концентраторы напряжений подключением следующих структурных уровней деформации.

### **Список использованной литературы**

1. Савченков Э.А., Шашкова В.К., Воронова В.М., Козюлин А.В. Структурные превращения перлитной стали под действием низкотемпературной диффузии водорода [Текст] // Изв. АН СССР. Металлы, 1988. - № 6. - с. 49 – 51.
2. Савченков Э.А., Шашкова Л.В. Сверхупругость железа и стали в условиях нестационарной диффузии водорода [Текст] // Изв. РАН РФ. Металлы. - М., 1995. - № 2. - с. 118 - 122.
3. Савченков Э.А., Шашкова Л.В., Шашкова В.К. Влияние диффузионного движения водорода на характеристики тонкой структуры и микродеформацию феррита [Текст] // Изв. РАН РФ. Металлы. - М., 1997. - № 4. - с. 75 - 79.
4. Савченков Э.А., Шашкова Л.В., Шашкова В.К. Диссипативные превращения тонкой и микроструктуры стали в условиях диффузионного переноса водорода [Текст] // ВЕСТНИК ОГУ, Оренбург, 2005. - № 10. - с. 178 - 182.
5. Косолапов Г.Ф. Рентгенография [Текст] / М: Высшая школа, 1962. - 332с.
6. Горелик С.С. Рентгенографический и электроннооптический анализ [Текст] /С.С. Горелик, Л.Н. Росторгуев, Ю.А. Скаков. - М.: Металлургия, 1970. - 367с.
7. Миркин М.И. Справочник по рентгенографическому анализу поликристаллов [Текст] /М.: Физ. - мат. изд-во, 1961. - 863с.
8. Олемской А.И. Синергетика конденсированной среды [Текст]/ А.И. Олемской, А.А. Кацнельсон – М: Едиториал УРСС, 2003. – 336 с.
9. Иванова В.С. Синергетика и фракталы в материаловедении [Текст] / В.С. Иванова, А.С. Баланкин, И.Ж. Бунин, А.А. Оксогоев. – М.: Наука, 1994. – 383 с.

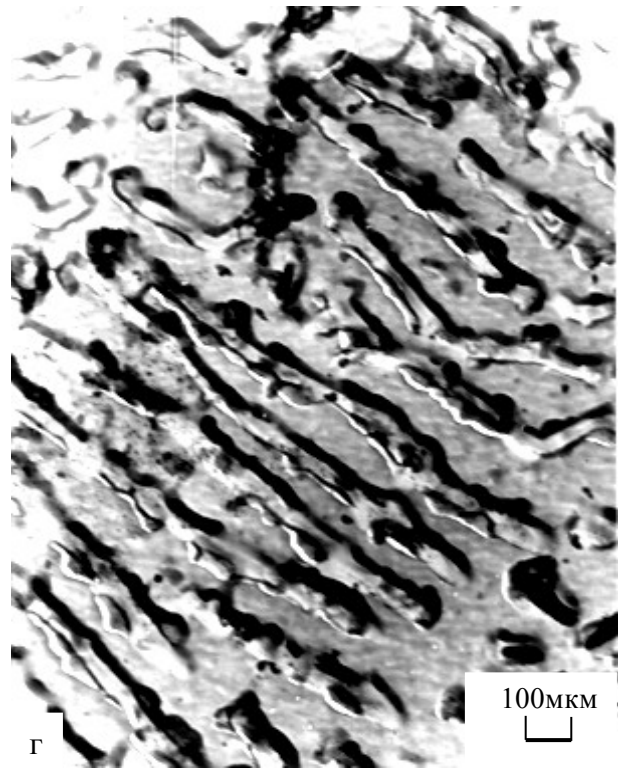
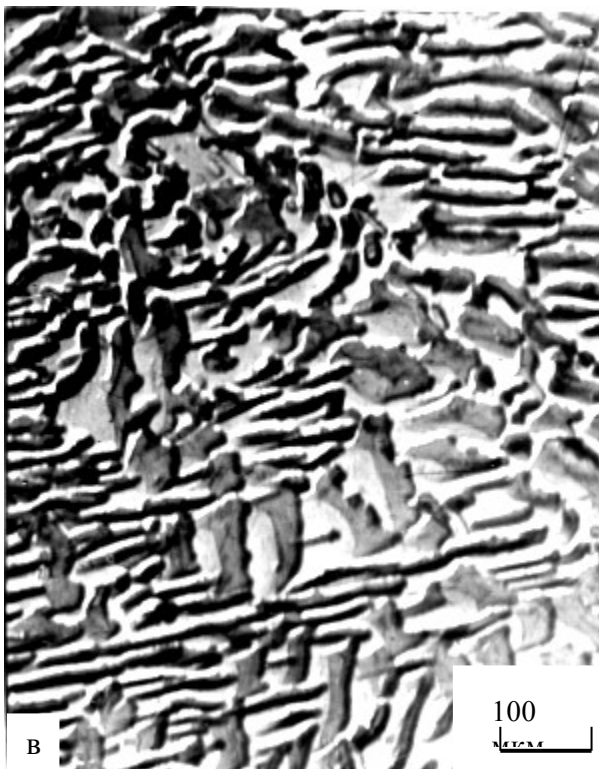
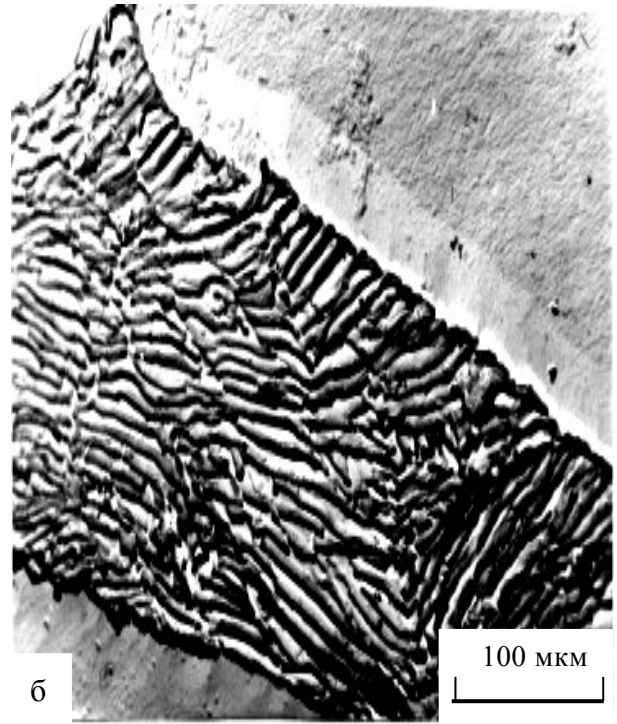
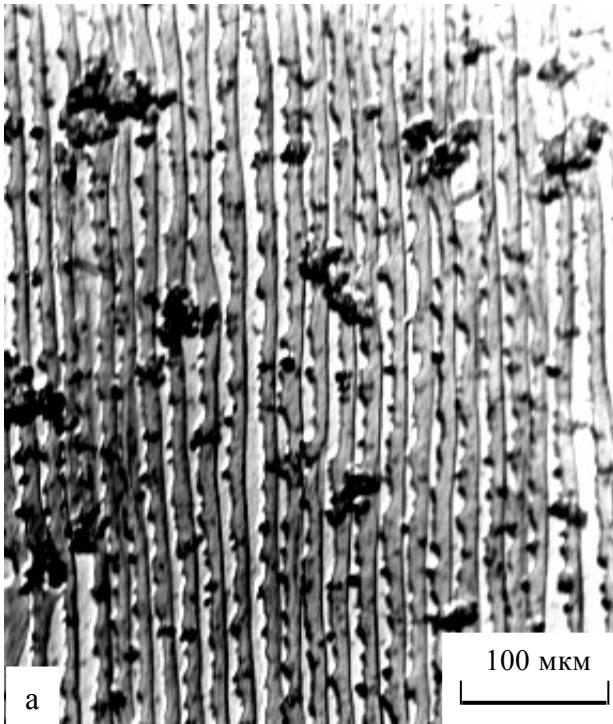


Рисунок 3. Микроструктура перлита стали 20: а) исходное состояние; б), в), г) после наводороживания

# Степанов В.Н., Кучеренко М.Г., Летута С.Н. Аннигиляция триплетных экситонов с триплетными центрами в полимерных цепях

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург

В работе изложены результаты исследования проблемы экситонного транспорта энергии электронного возбуждения в цепях молекул линейных полимеров. В результате проведения экспериментов по двухквантовому возбуждению люминофоров в полимерных цепях были получены осциллограммы процессов рождения и аннигиляции триплетных экситонов матрицы. Для описания этих процессов в работе [1] построена теория кросс-аннигиляции 1d T-экситонов с T-центрами сенсбилизаторов. Показано, что быстрая релаксация населенностей триплетных уровней сенсбилизующих центров связана с генерацией одномерных триплетных (T) экситонов в полимерных цепях матрицы.

При воздействии импульсом неодимового лазера (вторая гармоника) происходит заселение высших синглетных состояний люминофора и за время  $10^{-12} - 10^{-11}$  с происходит безызлучательная релаксация (внутренняя конверсия) на нижний по энергии возбужденный синглетный уровень  $S_n \sim S_1$ . Путем интрекомбинационной конверсии за время  $t$  порядка  $10^{-9} - 10^{-8}$  секунды, происходит заселение первого триплетного уровня красителя. Импульсом второго лазера, в диапазоне длин волн  $\sim 610$  нм, происходит возбуждение молекул, находящихся на нижнем триплетном уровне с переходом их на высшие триплетные уровни. Если триплетная экситонная зона полимерной матрицы находится в энергетическом резонансе с высшими триплетными уровнями люминофора, происходит генерация триплетного экситона на цепи полимера, который начинает диффундировать и уходит из точки старта. При блуждании возбуждения по отрезку цепи оно может погибнуть самопроизвольно с характерным временем жизни  $\tau_T$ , или проаннигилировать с T-центром. В этом случае для удельной скорости  $K(t|l)$  кросс-аннигиляции, кинетики населенности  $n_l(t)$  T-центров и парциальной интенсивности  $I_{DF}(t|l)$  сигнала кросс-аннигиляционной замедленной флуоресценции (ЗФ) на отрезке цепи длиной  $l$  получены выражения:

$$K(t|l) = -D \left( \frac{\partial P(x|t)}{\partial x} \right)_{x=l}, \quad (1)$$

$$n_l(t) = n_0 \exp \left( -\frac{t}{\tau_T} - \int_0^t K(\tau|l) d\tau \right), \quad (2)$$

$$I_{DF}(t|l) = K(t|l) n_0 \exp \left( -\frac{t}{\tau_T} - \int_0^t K(\tau|l) d\tau \right), \quad (3)$$

где  $n_0$  – начальная плотность экситонов,  $P(x|t)$  – плотность вероятности обнаружить в момент времени  $t$  в точке  $x$  экситон, блуждающий по отрезку цепи с коэффициентом диффузии  $D$ , которая определяется выражением

$$P(x|t) = \frac{4}{\pi l} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)} \sin\left[\frac{(2n+1)\pi x}{l}\right] \exp\left[-\frac{D(2n+1)^2 \pi^2 t}{l^2}\right]. \quad (4)$$

Производя усреднение выражений (2), (3) по длинам отрезков цепи с учетом их функции распределения  $f(l)$ , получаем следующие выражения для наблюдаемых величин:

$$n(t) = \langle n_l(t) \rangle = \int_{l_0}^{\infty} n_l f(l) dl, \quad (5)$$

$$I_{DF}(t) = \langle I_{DF}(t|l) \rangle = \int_{l_0}^{\infty} I_{DF}(t|l) f(l) dl, \quad (6)$$

где  $n(t)$  – закон дезактивации Т-центров,  $f(l) = c \exp(-cl)$  – функция распределения отрезков цепи по длинам  $l$ , а  $c$  – линейная плотность молекул сенсibilизаторов на цепи.

В результате проведенных компьютерных вычислений были получены графики зависимостей кинетики населенности триплетных центров (5) и интенсивности кросс-анигиляционной замедленной флуоресценции (6) от различных параметров теории. На приведенных рис. 3-8 наблюдается хорошее согласие расчетных графиков с кинетическими кривыми (рис. 1-2), полученными в экспериментах по двухквантовому возбуждению люминофоров в полимерных матрицах.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 06-08-00168) и Рособразования (задание № 1.3.06).

## Литература

1. **Кучеренко, М.Г.** Генерация и аннигиляция триплетных экситонов в полимерных цепях при ступенчатом лазерном возбуждении сенсibilизаторов [Текст] / М.Г. Кучеренко, С.Н. Летута, В.Н. Степанов // Вестник ОГУ. – Оренбург: РИК ГОУ ОГУ, 2006. – № 5 (приложение). – С. 6-12. – 1200 экз. – ISBN 1814-6457.

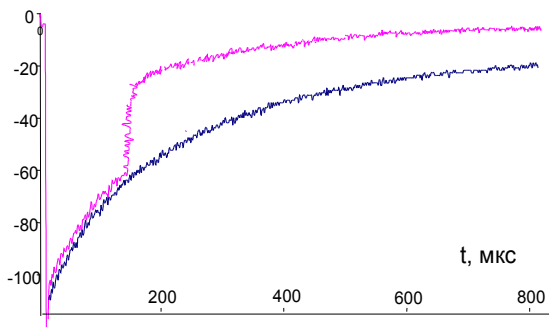


Рис. 1. Осциллограммы сигналов флуоресценции эритрозина в пленке ПММА при одноквантовом ( $\lambda_1=532$  нм, синяя линия) и ступенчатом двухквантовом возбуждении ( $\lambda_1=532$  нм и  $\lambda_2=610$  нм, красная линия) молекул эритрозина через нижнее триплетное состояние. Повторная активация – лазер на красителях,  $\lambda_2=610$  нм (плотность мощности  $20$  МВт/см<sup>2</sup>, длительность импульса  $10$  нс). Концентрация эритрозина  $C_{er}=2 \cdot 10^{-4}$  М

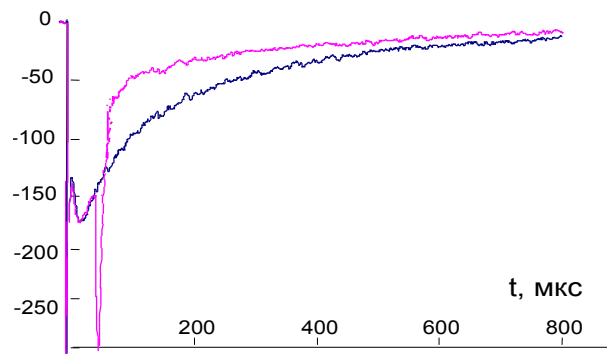


Рис.2. Осциллограмма лазероиндуцированных изменений кинетики релаксации триплетных состояний молекул эритрозина в пленке карбоксиметилцеллюлозы. Синяя линия – сигнал замедленной флуоресценции красителя, индуцированной излучением второй гармоники неодимового лазера с плотностью мощности  $3$  МВт/см<sup>2</sup> (энергия импульса –  $3$  мДж), при длительности импульса  $100$  нс. Красная линия – тот же сигнал после воздействия на систему импульсом лазера на красителях  $\lambda_2=610$  нм, с плотностью мощности  $20$  МВт/см<sup>2</sup> при длительности импульса  $10$  нс. Энергия импульса –  $7$  мДж. Концентрация эритрозина  $C_{er} = 2 \cdot 10^{-4}$  М.

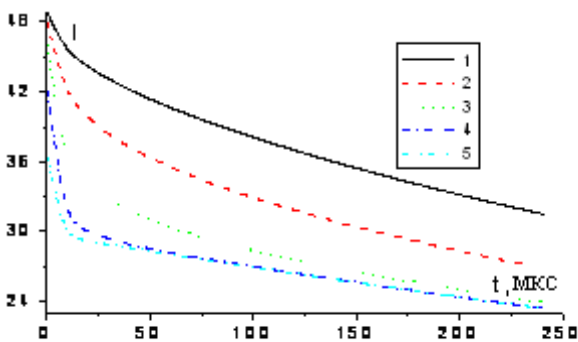


Рис. 3. Кинетика населенности триплетных центров. Зависимость от частоты прыжков экситона по цепи полимера в [с<sup>-1</sup>].  $a = \frac{D}{l_0^2}$ , где  $D$  – коэффициент диффузии экситонов,  $l_0$ - длина звена полимера. Номер кривой соответствует коэффициенту  $a$ : 1 –  $10^9$ ; 2 –  $10^{10}$ ; 3 –  $10^{11}$ ; 4 –  $10^{12}$ ; 5 –  $10^{13}$

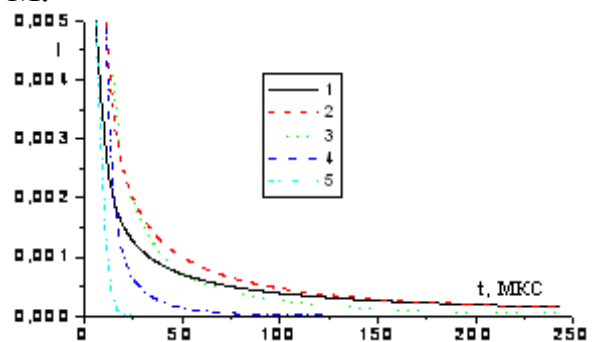


Рис. 4. Сигнал кросс-аннигиляционной замедленной флуоресценции триплетных экситонов с триплетными центрами на цепи полимера. Зависимость от частоты прыжков экситона по цепи полимера в [с<sup>-1</sup>].  $a = \frac{D}{l_0^2}$ , где  $D$  – коэффициент диффузии экситонов,  $l_0$ - длина звена полимера. Номер кривой соответствует коэффициенту  $a$ : 1 –



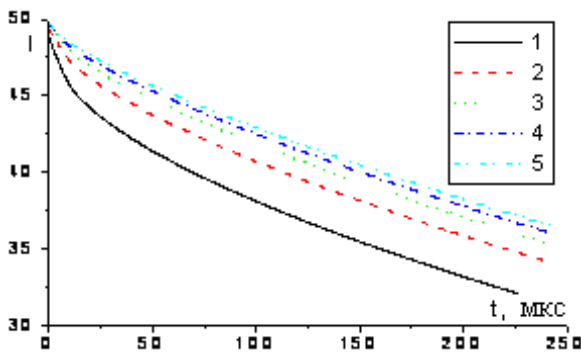


Рис 5. Кинетика населенности триплетных центров на цепи полимера. Зависимость от параметра  $l_0$ - длины звена полимера в [нм]. Номер кривой соответствует параметру  $l_0$ :  
1 - 1; 2 - 2; 3 - 3; 4 - 4; 5 - 5

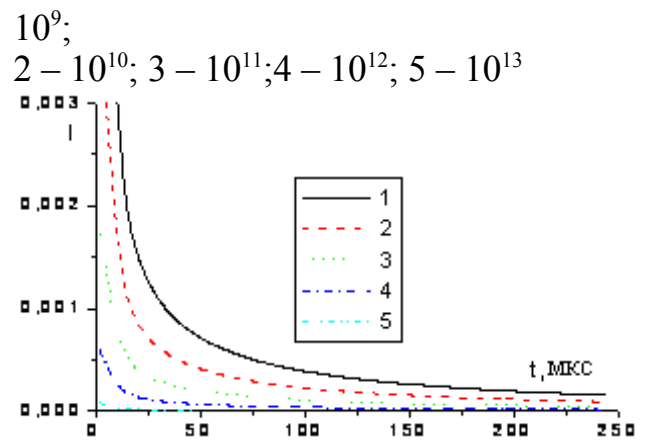


Рис. 6. Сигнал кросс-аннигиляционной замедленной флуоресценции триплетных экситонов с триплетными центрами на цепи полимера. Зависимость от параметра  $l_0$ - длины звена полимера в [нм]. Номер кривой соответствует параметру  $l_0$ : 1 - 1; 2 - 2; 3 - 3; 4 - 4; 5 - 5

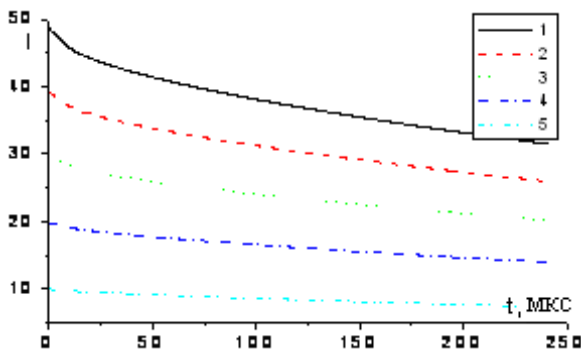


Рис. 7. Кинетика населенности триплетных центров на цепи полимера. Зависимость от линейной плотности молекул сенсibilизаторов  $c$  [нм<sup>-1</sup>].  $c = \frac{N_l}{N_c l_0}$ , где  $N_l$  -число люминофоров на полимере,  $l_0$ - длина звена полимера,  $N_c$  - число звеньев в цепи полимера. Номер кривой соответствует параметру  $c$ : 1- 0.02; 2- 0.016; 3- 0.012; 4- 0.008; 5- 0.004.

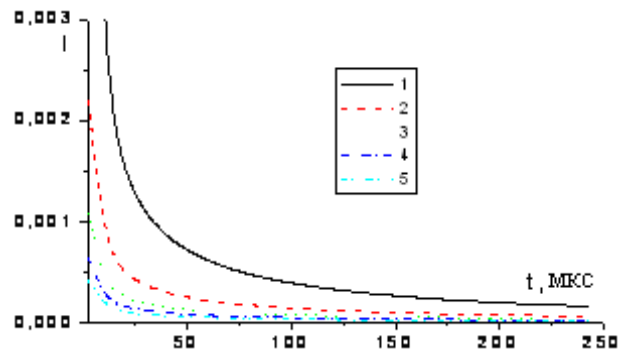


Рис. 8. Сигнал кросс-аннигиляционной замедленной флуоресценции триплетных экситонов с триплетными центрами в зависимости от линейной плотности молекул сенсibilизаторов  $c$  [нм<sup>-1</sup>].  $c = \frac{N_l}{N_c l_0}$ , где  $N_l$  -число люминофоров на полимере,  $l_0$  - длина звена полимера в нм,  $N_c$  - число звеньев в цепи полимера. Номер кривой соответствует параметру  $c$ : 1 - 0.02; 2 - 0.016; 3 - 0.012; 4 - 0.008; 5 - 0.004.

## Сутормина Ю.В. Истоки успешного поиска разрешения вопроса: может ли масса превращаться в энергию?

Бузулукский гуманитарно-технологический институт (филиал) ГОУ ВПО  
ОГУ, Бузулук

Фундаментальная физика, основа технического прогресса XX века, в настоящее время теряет свои позиции в системе среднего и высшего образования. Главная причина – непонимание ее значения в реальной жизни. Лабораторное оборудование, необходимое для демонстрации сложных физических явлений, открытых в XX веке, из-за его высокой стоимости становится недоступным. Времена изменились, многие интеллектуальные функции уже не являются особенностью отдельных индивидуумов, а «живут» в организационных компьютерных системах и их сетях. Физические лаборатории становятся все более виртуальными, а работа «руками» на современном оборудовании заменяется его освоением на компьютерных тренажерах. Работа ученого в нашей стране перестала быть престижной. Профанация в преподавании физики достигла высокого уровня. Формирование научного мировоззрения студентов стал основной задачей высшего образования.

В данной статье рассмотрим поиски разрешения вопроса: может ли масса превращаться в энергию?

С понятиями «масса» и «энергия» мы знакомимся на ранних этапах изучения физики. Но до сих пор их «взаимодействия» допускают странные утверждения, ссылаясь при этом на специальную теорию относительности, в которой между этими величинами для покоящегося тела установлена фундаментальная связь:

$$E_0 = mc^2. \quad (1)$$

Здесь индекс (0) поставлен потому, что только у покоящегося тела между массой и энергией имеется такая фундаментальная связь: всякое вещественное тело, имеющее массу  $m$  только из-за факта своего существования, обладает в покое энергией  $E_0$ . Справедливо и обратное утверждение: у всякого вещественного тела есть энергия покоя, связанная с массой этого тела по формуле (1).

Этот результат специальной теории относительности (СТО) имеет огромное содержание, как физическое, так и философское: между двумя фундаментальными физическими характеристиками вещественных тел (их массой и энергией покоя) имеется однозначная связь. В классической физике подобного утверждения не существовало.

Приведем несколько утверждений, в которых сосредоточились все неверные толкования соотношения (1). Эти высказывания можно найти во многих научно-популярных изданиях и даже в учебной литературе. Поэтому не указывается конкретная публикация, откуда заимствована цитата.

1. «Данная формула раскрывает существующую в природе возможность взаимных превращений энергии и массы».
2. «Разность масс превращается в кинетическую (тепловую) энергию продуктов реакции. Таким путем в энергию переходит лишь очень малая часть массы».

3. «Если сталкивается частица с античастицей (например, электрон с позитроном), то они превращаются в два фотона. Так как фотон – частица которая не имеет массы, то в этом случае вся исходная масса целиком переходит в кинетическую энергию фотонов».
4. «Свойство массы превращаться в энергию не было известно в классической нерелятивистской физике».
5. «Масса эквивалентна энергии».

Чтобы разобраться, что ошибочно в приведенных фразах, рассмотрим сначала сами понятия «масса» и «энергия» с физической точки зрения. Слово «масса» имеет древние корни и восходит к библейскому слову «маца», означающее нечто осязаемое, количественно определяемое через порцию специфической пищи. Иначе обстоит дело со словом «энергия» (это греческое слово, в переводе означает «действие», «деятельность»). Оно была введено Гельмгольцем в середине XIX века при установлении великого закона Природы – закона сохранения и превращения энергии. Именно Гельмгольц вводит понятие «внутренняя энергия» и устанавливает два независимых способа ее изменения: или путем энергопередачи, или путем совершения работы. Это и есть первая формулировка закона сохранения и превращения энергии. Впоследствии закон приобрел большую общность, будучи распространенным на все виды энергии.

До сих пор наука не установила происхождение массы элементарных частиц (а значит, и вещественных тел, состоящих из элементарных частиц). Но ясно, что это понятие не может служить мерой «количества вещества» (материи), как определял Ньютон. Такое определение подвергалось критике как с научной, так и с педагогической точек зрения. Действительно, о каком количестве вещества можно говорить, рассматривая массы электрона и протона?

Масса есть физическая величина, характеризующая определенные свойства вещественных тел. Такими свойствами являются инертность, гравитационное взаимодействие и, наконец, взаимосвязь с энергией покоя тела.

Энергией обладают не только тела, имеющие массу, но и безмассовые частицы (фотоны). Энергия есть характеристика всех видов материи (в то время как масса определяет свойства только вещественных тел). Научные понятия и определения не произвольны. В них, как и в законах, отражается объективная реальность. С понятием «энергия» мы встречаемся при установлении закона сохранения и превращения энергии. Из него непосредственно следует, что, обладая энергией, тело может совершить работу. Именно по этому наиболее общее и понятное определение энергии состоит в том, что она определяет способность материального тела совершить работу (не случайно и энергия и работа измеряются в одних и тех же единицах – в СИ джоулях).

Из приведенного анализа однозначно следует, что масса и энергия, хотя и могут иметь между собой связь и количественную пропорциональность, суть разные физические характеристики физических тел. Поэтому бессмысленно говорить о взаимопревращении этих характеристик друг в друга.

Проанализируем цитаты, которые выше занумерованы под №№1 – 5. Это необходимо сделать, так как идеи, вложенные в эти цитаты, встречаются часто.

В цитате 1 говорится «о возможности взаимных превращений энергии и массы». Трудно объяснить, как можно увидеть в формуле (1) указание на возможность взаимопревращений массы и энергии. Соотношение (1) содержит

только одно утверждение: между двумя физическими характеристиками вещественного тела, его массой и энергией покоя, имеется фундаментальная связь: если тело обладает массой, то у него есть энергия покоя.

Объединим рассмотрение утверждений 2 и 3, так как они по существу идентичны и различаются лишь с количественной стороны при «превращении массы в энергию».

Остановимся более подробно на утверждении 3. Так как в СТО нет закона сохранения массы, то и не следует требовать выполнения этого закона для обеих частей реакции аннигиляции:

$$e_- + e_+ \Leftrightarrow 2h\nu . \quad (2)$$

В реакции (2) проявляют себя многие законы сохранения микромира. И в первую очередь, законы сохранения импульса и энергии.

До реакции энергия покоя частиц была равна

$$E_{\text{покоя}} = m_- c^2 + m_+ c^2, \text{ при } m_- = m_+ .$$

На основании закона сохранения энергии суммарная энергия покоя электрона и позитрона должна равняться энергии двух фотонов:

$$E_{\text{покоя}} = 2A_{\text{фотон}} .$$

Поэтому ни о каком превращении массы в энергию в реакции (2) не может идти речь. В этой реакции мы встречаемся с интересным физическим явлением: материя из формы вещества превращается в полевую материю. Каждая из этих форм материи реальна, материальна. Но у каждой формы материи имеются свои специфические свойства: у вещественных частиц есть масса, у этих полевых частиц – массы нет.

Ошибочно утверждение 4, так как ни в классической, ни в релятивистской физике нет у массы свойства «превращаться в энергию».

Цитата 5 утверждается теми, кто плохо знает слов русского словаря. Слово «эквивалентность» равносильно слову «равноценность». Из предыдущего анализа видно, что масса и энергия – это две самостоятельные физические характеристики, определяющие разные свойства материальных тел. Они могут быть пропорциональны друг другу, но не заменяют друг друга при описании физических явлений. Этот принцип утверждает эквивалентность однородных физических величин, а не разнородных, каковыми являются масса и энергия.

Ложное толкование выводов СТО недопустимо не только в учебной, но и в научно-популярной литературе, так как неподготовленный ум студентов, и любознательных читателей принимает напечатанный текст как «истину в последней инстанции».

# Чмерева Т.М., Кучеренко М.Г., Бобин Е.Г. Триplet-триplet-ная аннигиляция адсорбатов

Оренбургский государственный университет, г.Оренбург

В представленной работе построена математическая модель кинетики люминесценции молекул люминофора, адсорбированных на плоской поверхности твердого тела или на поверхности микропоры, при взаимной дезактивации возбужденных триpletных состояний.

При импульсной активации молекул красителя, однородно распределенных по поверхности, уравнение для поверхностной плотности триpletных возбуждений  $n_T(t)$  записывается в виде [1]

$$n_T(t) = -\frac{1}{\tau_T} n_T(t) - K_{TT}(t) n_T^2(t), \quad (1)$$

где  $\tau_T$  - собственное время жизни триpletного состояния. Удельная скорость парной аннигиляции возбуждений  $K_{TT}(t)$  определяется интегралом

$$K_{TT}(t) = 2\pi \int_{r_0}^{\infty} U(\rho) f(\rho, t) \rho d\rho. \quad (2)$$

Удельную скорость определяет парная корреляционная функция  $f(\rho, t)$  для возбужденных центров на поверхности, удовлетворяющая в парном приближении уравнению [1]

$$\frac{\partial}{\partial t} f(\rho, t) = D \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} \rho \frac{\partial}{\partial \rho} f(\rho, t) - U(\rho) f(\rho, t) \quad (3)$$

с начальным условием  $f(\rho, 0) = 1$  и граничными условиями  $f(\infty, t) = 1$  и

$$\left. \frac{\partial f(\rho, t)}{\partial t} \right|_{\rho=r_0} = 0.$$

Здесь  $D$  – коэффициент поверхностной диффузии реагентов,  $U(\rho)$  - скорость переноса энергии электронного возбуждения. В случае триplet-возбужденных молекул [2]

$$U(\rho) = U_0 \exp[-2(\rho - r_0)/L]. \quad (4)$$

Построим решение уравнения (3) для случая медленной диффузии  $D \rightarrow 0$ . Функцию  $f(\rho, t)$  будем искать в виде ряда по степеням  $\varepsilon = D/(r_0^2 U_0)$

$$f(\rho, t) = f^{(0)}(\rho, t) + \varepsilon f^{(1)}(\rho, t) + \dots \quad (5)$$

Подставим это разложение в уравнение (3) и, приравняв выражения при одинаковых степенях  $\varepsilon$ , получим для функций  $f^{(0)}(\rho, t)$  и  $f^{(1)}(\rho, t)$  следующую систему уравнений

$$\frac{\partial f^{(0)}(\rho, t)}{\partial t} = -U(\rho) f^{(0)}(\rho, t),$$

$$\frac{\partial f^{(1)}(\rho, t)}{\partial t} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} \rho \frac{\partial}{\partial \rho} f^{(0)}(\rho, t) - U(\rho) f^{(1)}(\rho, t).$$

Ее решение при начальных условиях  $f^{(0)}(\rho, 0) = 1$  и  $f^{(1)}(\rho, 0) = 0$  имеет вид

$$f^{(0)}(\rho, t) = \exp[-U(\rho)t] \text{ и } f^{(1)}(\rho, t) = \left( \frac{A(\rho)}{2} t^2 + \frac{B(\rho)}{3} t^3 \right) \exp[-U(\rho)t], \quad (6)$$

где  $A(\rho) = -\frac{\partial^2 U(\rho)}{\partial \rho^2} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial U(\rho)}{\partial \rho}$ ,  $B(\rho) = \left( \frac{\partial U(\rho)}{\partial \rho} \right)^2$ .

Оценим величину коэффициента диффузии  $D$ , при которой решение уравнения (3) можно искать в виде (5). Очевидно, это возможно, когда член, содержащий  $D$ , мал по сравнению с двумя другими. Если величина  $U_0$  имеет значение  $10^8 \text{ с}^{-1}$ , то член с производной по времени имеет тот же порядок. Величина  $\nabla_{\rho}^2 f(\rho, t) \sim U_0 / L^2$  при  $L = 0.1 \text{ нм}$  на 20 порядков больше, поэтому, чтобы сделать это слагаемое малым, необходимо брать  $D < 10^{-11} \text{ см}^2 \text{ с}^{-1}$  при решении задачи в микросекундной области. Для больших значений коэффициента диффузии уравнение (3) нужно решать численно.

На рис. 1 представлены результаты расчетов парной корреляционной функции для случая малого коэффициента диффузии  $D = 1 \cdot 10^{-11} \text{ см}^2 \text{ с}^{-1}$  а) по формулам (5), (6), б) методом сеток.

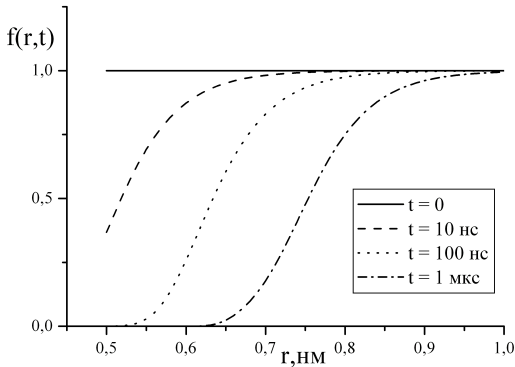


Рис. 1а

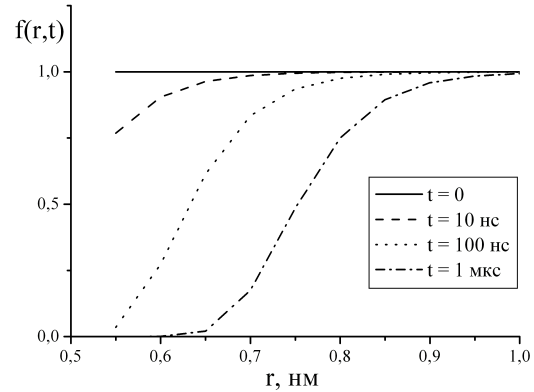


Рис. 1б

Из сравнения рисунков видно небольшое расхождение результатов аналитических и численных расчетов при малых временах, что объясняется использованным приближением при построении аналитического решения. На рис. 2 приведены результаты численных расчетов радиальной зависимости парной корреляционной функции в момент времени  $t = 1 \text{ мкс}$  для разных коэффициентов диффузии. С ростом коэффициента диффузии расширяется область, занятая возможными партнерами по аннигиляции.

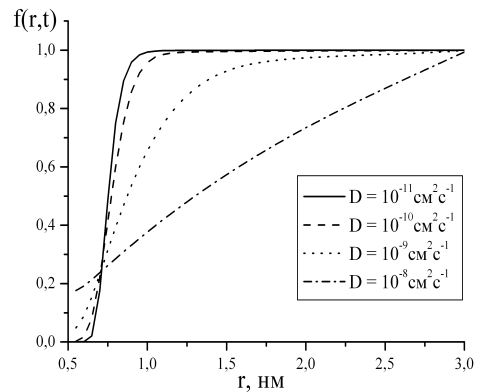


Рис. 2

Теперь, зная парную корреляционную функцию, можно вычислить удельную скорость парной аннигиляции по формуле (3). Интеграл в (3) берется только численно. Однако можно получить приближенное его значение, воспользовавшись построенным аналитическим выражением для парной корреляционной функции, и учитывая, что наибольший вклад в интеграл дает область  $\rho \approx r_0$ . Тогда, заменив  $\rho d\rho$  на  $r_0 d\rho$ , получим

$$K_{TT}(t) = \frac{\pi r_0 L}{t} (1 - \exp[-U_0 t]) + \pi D \left(1 + \frac{2r_0}{L}\right) (1 - (U_0 t + 1) \exp[-U_0 t]) + \frac{8\pi D r_0}{3L} \left(1 - \left(\frac{(U_0 t)^2}{2} + U_0 t + 1\right) \exp[-U_0 t]\right).$$

Свое максимальное значение удельная скорость принимает в начальный момент времени  $K_{TT}(0) = \pi r_0 L U_0$ , а на больших временах

$$K_{TT} \rightarrow \pi D \left(1 + \frac{2r_0}{L} + \frac{8r_0}{3L}\right).$$

На рис. 3 представлены результаты численных расчетов зависимости удельной скорости аннигиляции от времени для случая медленной диффузии ( $D = 1 \cdot 10^{-11} \text{ см}^2 \text{ с}^{-1}$ ).

Определив  $K_{TT}(t)$ , можно найти решение уравнения (1). Оно в квадратурах имеет следующий вид

$$n_T(t) = n_0 \frac{\exp(-t/\tau_T)}{1 + n_0 S(t)}; \quad S(t) = \int_0^t K_{TT}(t') \exp(-t'/\tau_T) dt',$$

где  $S(t)$  – растущий со временем размер аннигиляционной области, имеющий размерность площади. Зависимость размера аннигиляционной области и поверхностной концентрации триплет-возбужденных молекул люминофора от времени показана на рис. 4 и рис. 5.

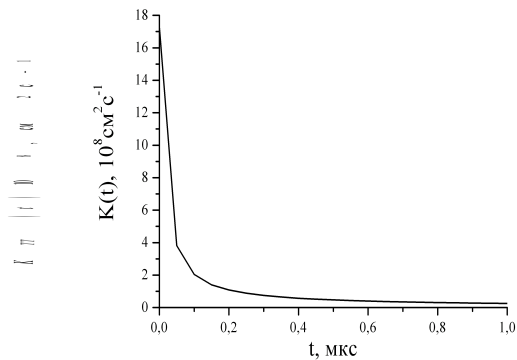


Рис. 3

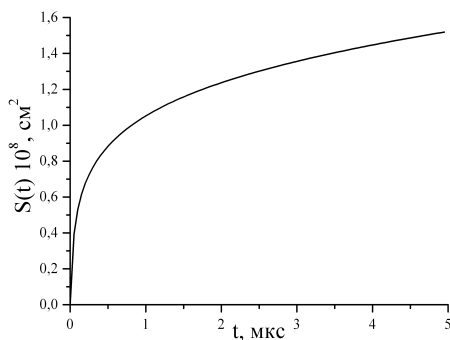


Рис. 4

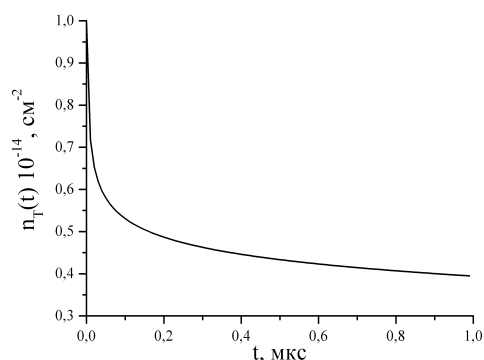


Рис. 5

В расчетах использовались следующие значения параметров  $\tau_T = 1$  мс,  $r_0 = 0.5$  нм,  $L = 0.1$  нм,  $n_0 = 10^{14}$  см<sup>-2</sup>.

Наблюдаемая интенсивность сигнала фосфоресценции пропорциональна поверхностной плотности триплетных центров, а интенсивность сигнала аннигиляционной замедленной флуоресценции пропорциональна ее квадрату

$$I_{Ph} \sim n_T(t); \quad I_{ADF} \sim n_T^2(t)K_{TT}(t).$$

Таким образом, в представленной работе проведено исследование поведения парной корреляционной функции в зависимости от величины коэффициента диффузии, и рассмотрен способ ее построения для случая медленной диффузии. Получено приближенное аналитическое выражение для удельной скорости парной аннигиляции и рассчитана зависимость поверхностной концентрации триплет-возбужденных молекул люминофора от времени, которая определяет наблюдаемую интенсивность люминесцентных сигналов адсорбатов.

Исследования поддержаны Российским фондом фундаментальных исследований (проект № 06-08-00168- а2006\_фоин), а также Министерством образования и науки России (задание Рособразования № 1.3.06).

## Список литературы

1. Кучеренко М.Г. Кинетика нелинейных фотопроцессов в конденсированных молекулярных системах. Оренбург: Оренбургский гос. университет, 1997. 386 с.
2. Агранович В.М., Галанин М.Д. Перенос энергии электронного возбуждения в конденсированных средах. – М.: Наука, 1978.



# Якунин И.Н., Бердинский В.Л. Непрерывные измерения как причина квантовой эволюции

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург

Вопросы теории квантовых измерений входят в список наиболее обсуждаемых в настоящее время. Число работ, посвящённых этому вопросу, постоянно растёт. Рассмотрению подвергается как эволюция системы в результате взаимодействия с измерительным прибором, так и изменение состояния прибора [1], которое несёт в себе информацию о состоянии системы до взаимодействия.

Одним из наиболее интересных и актуальных вопросов в данной области является изучение влияния непрерывных измерений на квантово-механическую эволюцию системы. Эти вопросы сопряжены с так называемым квантовым эффектом Зенона. Эффект состоит в замедлении квантовых переходов под действием повторных квантовых измерений системы. Считалось, что в пределе непрерывного измерения квантовые переходы в системе прекращаются, и она «замораживается» в одном состоянии.

Для эффекта Зенона характерно, что его причиной служит измерение. Цель же данной работы – показать, что процесс измерения (селективность) может не только замедлять квантовую эволюцию, но и быть её причинной.

Известно [1], что строгая квантовая теория измерений подобна теории релаксации и теории селективных необратимых процессов. В настоящей работе рассмотрена подсистема частиц, взаимодействующих с измерительным прибором, способным селективно и необратимо выводить частицы из исходного ансамбля. Покажем сначала, что измерение с неселективным выбыванием частиц из ансамбля не может «заставить» квантовую систему эволюционировать. Затем рассмотрим действие измерительного прибора, способного после измерения квантового состояния селективно выводить частицы из рассматриваемого ансамбля. Будет доказано, что если оператор измерения не коммутирует с гамильтонианом, то во втором случае появляется вероятность обнаружить частицы в состоянии, ортогональном по отношению к начальному.

Если действие измерительного прибора на квантово-механическую систему сводится к неселективному выбыванию частиц из ансамбля (например, неселективное поглощение), то эволюция ансамбля должна описываться матрицей плотности  $\rho$  и уравнением Неймана-Лиувилля [2]:

$$\frac{d\rho}{dt} = -\frac{i}{\hbar} [\mathbf{H}, \rho] - w \cdot \rho, \quad (1)$$

где  $w$  – постоянная скорости неселективного выбывания частиц из ансамбля. Если начальное состояние системы описывается матрицей плотности  $\rho(0) = |\psi_1\rangle\langle\psi_1|$ , то решение уравнения (1) дают следующие выражения для вероятностей

$$P_1(t) = \rho_{11}(t) = e^{-wt} \quad (2)$$

$$\text{и} \\ P_2(t) = \rho_{22}(t) = 0. \quad (2')$$

Неселективное выбывание никоим образом не влияет на переходы между состояниями системы и частицы всё время остаются в исходном состоянии  $|\psi_1\rangle$ , не переходя в состояние  $|\psi_2\rangle$ .

### Модель с селективным убыванием частиц из ансамбля

Пусть в системе, изначально находящейся в собственном состоянии гамильтониана  $H$ , например, в состоянии  $|\psi(0)\rangle = |\psi_1\rangle$  измерительный прибор селективно (с вероятностью  $w$ ) убирает только частицы, находящиеся в суперпозиционном состоянии  $|\psi_3\rangle = \tilde{n}_1|\psi_1\rangle + \tilde{n}_2|\psi_2\rangle$ . Очевидно, что вероятность выбывания частиц определяется вероятностью их обнаружения в этом суперпозиционном состоянии.

Такая эволюция частиц ансамбля описывается уравнением, аналогичным (1), но учитывающим селективное выбывание частиц, и это уравнение имеет вид [3].

$$\frac{d\rho}{dt} = -\frac{i}{\rho}[H, \rho] - w/2 \{P_3 \cdot \rho + \rho \cdot P_3\}, \quad (3)$$

Здесь  $P_3 = |\psi_3\rangle\langle\psi_3|$  - оператор проектирования в суперпозиционное состояние. Если ни одна из величин  $c_1$  и  $c_2$  не равна нулю, то такой проектирующий оператор не коммутирует с гамильтонианом. Для доказательства достаточно воспользоваться представлением гамильтониана  $H = E_1|\psi_1\rangle\langle\psi_1| + E_2|\psi_2\rangle\langle\psi_2|$  и, расписывая оператор проектирования через  $|\psi_1\rangle$  и  $|\psi_2\rangle$ , найти коммутатор  $[H, P]$ , который равен  $c_1c_2(E_1 - E_2)(|\psi_2\rangle\langle\psi_1| - |\psi_1\rangle\langle\psi_2|)$ .

Уравнение (3) для матрицы плотности подсистемы невыбывших частиц может быть решено точно. Используя его, можно получить вероятность обнаружения системы в состоянии  $|\psi_2\rangle$ :

$$P_2(t) = \langle\psi_2|\rho(t)|\psi_2\rangle = \exp\left(-\frac{w}{2}t\right) \tilde{n}_1^2 \tilde{n}_2^2 \frac{w^2}{\sqrt{a \cdot a^*}} Sh(t\sqrt{a}) Sh(t\sqrt{a^*}), \quad (4)$$

Где

$$a = \frac{w^2}{16} - \frac{\Delta\omega^2}{4} + i \cdot \frac{w}{2} \cdot \Delta\omega (c_1^2 - c_2^2), \\ a^* = \frac{w^2}{16} - \frac{\Delta\omega^2}{4} - i \cdot \frac{w}{2} \cdot \Delta\omega (c_1^2 - c_2^2) \\ \text{и } \Delta\omega = (E_1 - E_2)/\hbar$$

Из формулы (4) следует, что в общем случае вероятность  $P_2(t)$  обнаружения системы частиц в состоянии  $|\psi_2\rangle$  не равна нулю, то есть в результате измерения (действия измерительного прибора) частица переходит из состояния  $|\psi_1\rangle$  в состояние  $|\psi_2\rangle$ . Вероятность такого перехода пропорциональна квадрату «эффективности» измерения  $w$ . Если же  $w = 0$  (отсутствие квантовых измерений и проектирования), то вероятность  $P_2(t) = 0$  и частица все время остается в исходном состоянии  $|\psi_1\rangle$ . Этот пример наглядно демонстрирует принципиальную разницу действия селективного и неселективного процессов измерения с выбыванием частиц. Выражение (4) содержит экспоненциально убывающий множитель  $\exp(-wt/2)$ , следовательно, при больших временах  $t \rightarrow \infty$  вероятность  $P_2(t) \rightarrow 0$ , что соответствует полному выбыванию частиц из рассматриваемого ансамбля.

Таким образом доказано, что совместное действие измерительного прибора и гамильтониана системы вызывает её квантовую эволюцию.

### **Цитируемая литература**

1. К. Kashino, А. Shimizu. Phys. Reports, **2005**, v.412, p. 191-275.
2. М. Б. Менский, Успехи физических наук, **2007**, т.177, №4, с. 415-425.
3. М.Б. Менский. Квантовые измерения и декогеренция. Москва, Физматлит, 2001