

Секция 16
**«Вопросы фундаментальной и
прикладной физики»**

Содержание

Алиджанов Э.К., Лантух Ю.Д., С.Н. Летута, Пашкевич С.Н., Домахин О.А. СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭНДОМЕТАЛЛОФУЛЛЕРЕНОВ Gd@C82.....	3
Алиджанов Э.К., Домахин О.А., Логинов Б.А. СКанирующИЙ туннельный МИКРОСКОП, совмещенный с модернизированным растровым ЭЛЕКТРОННЫМ МИКРОСКОПОМ JSM-T20.....	7
Аминева М. В. ИСТОРИЯ ФИЗИКИ В КУРСЕ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ (НА ПРИМЕРЕ РАЗВИТИЯ ПОНЯТИЯ «ЭНЕРГИЯ»).....	11
Евстифоров С.С. ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАНИЯ СВЯЗАННЫХ МАЯТНИКОВ С МАЛОЙ АМПЛИТУДОЙ.....	17
Жежера Н.И., Абубакиров Д.Р. ЧАСТОТА ПРОДОЛЬНОЙ ВИБРАЦИИ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ТРУБКИ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ ИЗДЕЛИЙ НА ГЕРМЕТИЧНОСТЬ.....	22
Кучеренко М.Г., Русинов А.П., Чмерева Т.М., Игнатьев А.А., Гуньков В.В., Степанов В.Н., Палем А.А. СОЗДАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ НАНОСТРУКТУР НА ОСНОВЕ ЦЕПНЫХ МАКРОМОЛЕКУЛ И ДИАГНОСТИКА ИХ СОСТОЯНИЙ СРЕДСТВАМИ ЛАЗЕРНОЙ КИНЕТИЧЕСКОЙ СПЕКТРОФЛУОРИМЕТРИИ И КОГЕРЕНТНОЙ ФОТОМЕТРИИ.....	28
Помазкин В.А., Цветкова Е.В. КВАЗИМОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ МАГНИТОУПРУГОГО ПАРАМЕТРА Fe-Ni ПЛЕНОК.....	34
Рамазанов К.С. ТЕМНАЯ МАТЕРИЯ.....	40
Романов В.А. ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СОВРЕМЕННОГО ОБРАЗОВАНИЯ.....	43
Рябинина О. Н. СОДЕРЖАТЕЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ПРЕПОДАВАНИЯ ФИЗИКИ.....	46
Рябинина О.Н. КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ БРОНЗЫ, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОГО СПЕКАНИЯ.....	49
Савченков Э. А., Шашкова Л. В., Шашкова В. К. СТРУКТУРНАЯ, ХИМИЧЕСКАЯ И МЕХАНИЧЕСКАЯ МИКРОНЕОДНОРОДНОСТЬ И ОТКЛИК СТАЛИ НА ВОДОРОДНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ.....	52
Чмерева Т.М., Кучеренко М.Г. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АНИЗОТРОПНЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ ЛЕННАРДА-ДЖОНСА ДЛЯ РАСЧЕТОВ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ТЕРМОДИФФУЗИОННОГО ФАКТОРА В МОДЕЛИ ГАЗА ЛОРЕНЦА.....	60
Якунин И.Н., Бердинский В.Л. ОБ ОДНОМ СВОЙСТВЕ ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНЫХ ОПЕРАТОРОВ ЭВОЛЮЦИИ КВАНТОВОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....	66

**Алиджанов Э.К., Лантух Ю.Д., С.Н. Летута, Пашкевич С.Н.,
Домахин О.А. СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ЭНДОМЕТАЛЛОФУЛЛЕРЕНОВ $Gd@C_{82}$**

Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

Эндоэдральные углеродные кластеры (эндометаллофуллерены $M@C_{2n}$), являются производными фуллеренов и их изучение в настоящее время выделилось в отдельную область научных исследований. Эндоэдральные структуры представляют собой новый класс перспективных для практического использования наноматериалов, физико-химические свойства которых малоисследованы.

В настоящей работе проводились сравнительные исследования фотофизических свойств растворов эндометаллофуллеренов $Gd@C_{82}$ и фуллеренов C_{60} . Измерялись спектры электронного поглощения и люминесценции растворов $Gd@C_{82}$ в ДМСО и C_{60} в толуоле концентрации $\sim 10^{-5}$ М, а также спектры люминесценции этих растворов. Кроме того, методами атомной силовой микроскопии (АСМ) исследовалась морфология тонких пленок C_{60} и $Gd@C_{82}$, сформированных методом вакуумного термического напыления

В спектре электронного поглощения раствора C_{60} (рисунок 1а) присутствует интенсивная полоса поглощения в ультрафиолетовой области (300-400 нм) и два максимума в видимой области (540 и 600 нм), что обеспечивает ему фиолетовую окраску.

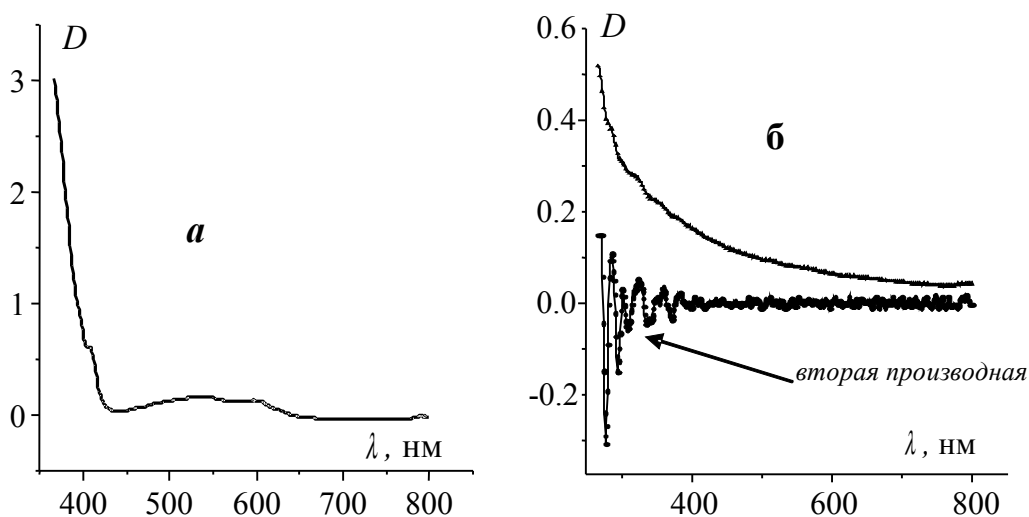


Рисунок 1. – Спектры оптического поглощения растворов фуллеренов C_{60} (а) и $Gd@C_{82}$. (б)

Раствор C_{60} в видимом диапазоне длин волн заметной люминесценцией не обладает.

В отличие от C_{60} , в спектре электронного поглощения раствора $Gd@C_{82}$ (см. рисунок 1б) заметных полос поглощения не имеется. В ультрафиолетовой области спектра (250-400 нм), так же, как и у C_{60} , обнаруживается быстрый

рост поглощения с уменьшением длины волны. Однако на фоне роста присутствует ряд слабо выраженных эквидистантных спектральных максимумов, что иллюстрируется второй производной спектра по длинам волн.

В отличие от C_{60} , раствор $Gd@C_{82}$ люминесцирует с квантовым выходом не менее 10^{-3} (см. рисунок 2). Спектр люминесценции, снятый для длины волны возбуждения 350 нм, представлен широким бесструктурным максимумом в области 540 нм.

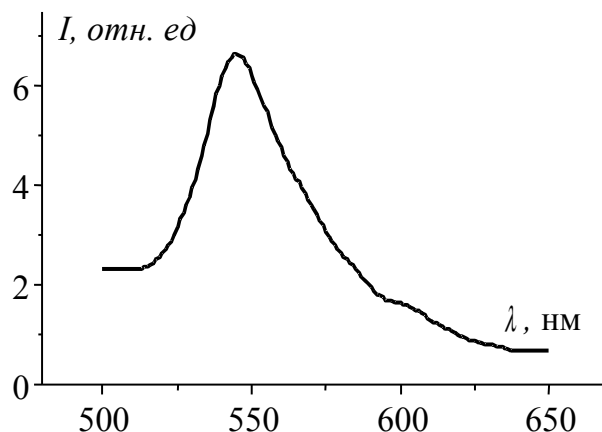


Рисунок 2. – Спектр люминесценции раствора $Gd@C_{82}$ в ДМСО

Пленки исследуемых веществ получались методом термического испарения в вакууме (10^{-7} Торр). В качестве подложек использовались пластины слюды, а толщина пленок контролировалась интерференционным способом *in situ*. Пленки из фуллеренов C_{60} напылялась со скоростью ~ 5 нм/мин из кварцевого испарителя при температуре 500°C , а эндофуллерены гадолиния $Gd@C_{82}$ напылялись со скоростью 1 нм/мин из танталовой «лодочки» при температуре 700°C .

Микроскопические исследования показали, что в случае C_{60} на начальной стадии формирования (1-2 мин) образуется сплошная пленка, состоящая из фуллереновых кластеров с характерными размерами 40-50 нм (см. рисунок 3).

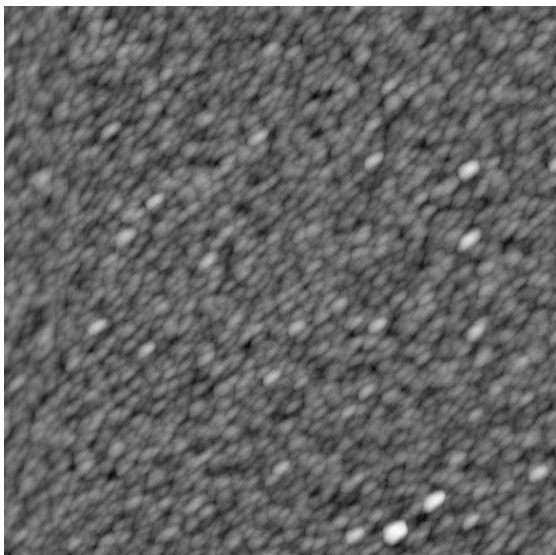


Рисунок 3.- АСМ – изображение пленки C60 на слюде 3x3 мкм

В случае $Gd@C_{82}$ на начальном этапе напыления (первые 10 мин) покрытие формируется в виде одиночных кластеров с характерными размерами 10-15 нм которые в последствии коалесцируют в образования овальной формы размерами 50-70 нм. При дальнейшем увеличении степени покрытия образуется сплошная пленка, состоящая из отдельных агрегатов с размерами 50-100 нм (см. рисунок 4).

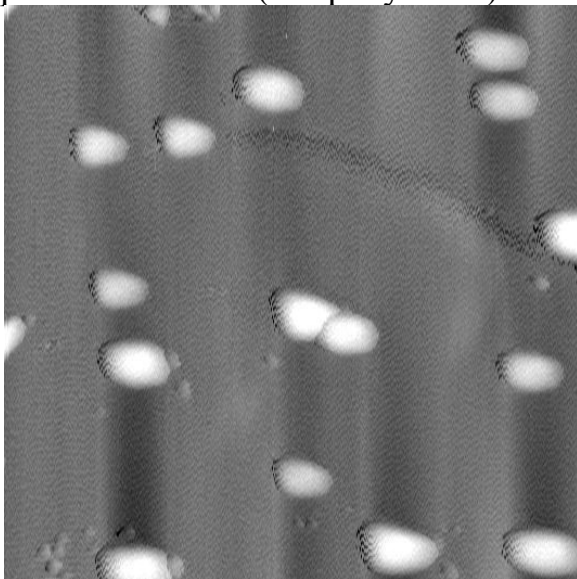


Рисунок 4.- АСМ – изображение пленки $Gd@C_{82}$ на слюде 1x1 мкм

Для обсуждения полученных экспериментальных результатов проанализируем совокупность известных из литературы свойств эндометаллофуллеренов.

В молекуле эндометаллофуллерена инкапсулированный атом металла отдает валентные электроны в углеродную сферу (оболочку) [1]. При этом он приобретает положительный заряд, смещается ассиметрично относительно центра фуллереновой сферы, молекула в целом приобретает дипольный

момент (2-4 D), инкапсулированный атом находится в движении внутри фуллереновой оболочки. Нижние незаполненные молекулярные орбитали (НСМО) и верхние заполненными молекулярные орбитали (ВЗМО) в молекуле эндометаллофуллерена образуются в результате гибридизации электронных состояний валентных электронов металла и углеродного остова. Энергетический интервал НСМО-ВЗМО для эндометаллофуллеренов меньше, чем у C_{60} , и составляет ~ 1 эВ. Таким образом, основные полосы электронного поглощения и люминесценции для $M@C_{82}$ лежат в ближней ИК-области.

Действительно, в спектре электронного поглощения $Gd@C_{82}$ отсутствуют максимумы в видимой области. Поглощение в ближнем УФ диапазоне можно связать с переходами на верхние возбужденные состояния. Микроскопические исследования процесса напыления $Gd@C_{82}$ показали, что молекулы данного типа образуют агрегаты уже на начальном этапе напыления. Это косвенно подтверждает наличие дипольного момента у молекул $Gd@C_{82}$.

Обнаруженная нами люминесценция раствора $Gd@C_{82}$ в ДМСО в области 540 нм не может быть объяснена переходами между молекулярными орбиталями $Gd@C_{82}$. Возможно, данная люминесценция связана с определенными осцилляциями инкапсулированного атома металла, либо ее следует описывать, исходя из электронных свойств молекулярных агрегатов (кластеров) с использованием твердотельных подходов.

[1]. H Shinohara. Endohedral metallofullerenes. Rep. Prog. Phys. 63 (2000) 843–892.

**Алиджанов Э.К., Домахин О.А., Логинов Б.А. СКАНИРУЮЩИЙ
ТУННЕЛЬНЫЙ МИКРОСКОП, СОВМЕЩЕННЫЙ С
МОДЕРНИЗИРОВАННЫМ РАСТРОВЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ
МИКРОСКОПОМ JSM-T20**

**Оренбургский государственный университет, Оренбург
Московский институт электронной техники, Зеленоград**

Анализ состояния научных исследований и технологий на сегодняшний день и среднесрочные прогнозы по их развитию указывают на возрастающий интерес исследователей к разработке и внедрению различных нанотехнологий (нанoeлектроника, молекулярные сенсоры и двигатели, фотонные кристаллы и т.д.). Для всестороннего изучения строения вещества на наноуровне, и создания возможности проведения различных манипуляций на уровне молекулярных кластеров, молекул, отдельных атомов необходимо наличие прецизионных контрольно-измерительных инструментов. В настоящее время существует большое количество разнообразных коммерческих микроскопов и манипуляторов для работы с нанообъектами. Однако объективно существующие экономические ограничения не позволяют широко использовать коммерческие установки в лабораторной практике. В настоящем докладе приведено малобюджетное техническое решение по созданию вакуумного микроскопа с атомарным разрешением. Для этого нами была проведена модернизация растрового электронного микроскопа (РЭМ) JSM- T-20 (рис. 1).



Рисунок 1. Растровый электронный микроскоп JSM-T20.

Модернизация РЭМ проводилась в два этапа. Сначала была существенно доработана электронная схема развертки электронного пучка растрового

микроскопа и системы визуализации исследуемого объекта. Разработана и изготовлена специальная плата управления разверткой РЭМ и оцифровки видео сигнала (сигнала, формирующего изображение) на основе 12 разрядного ЦАП – АЦП, которая сопрягалась с компьютером. Цифровой генератор развертки (X-Y) с помощью специального реле-коммутатора подключался к усилителям развертки электронного пучка РЭМ, при этом видео сигнал (Z) подавался на вход АЦП платы. Трехмерный массив точек (XYZ), получаемый в процессе сканирования, заносился в память компьютера. По окончании сканирования, на основе полученных данных, с помощью графического редактора компьютер воспроизводит изображение исследуемой поверхности. В стандартном режиме изображение исследуемой поверхности проецируется на экран монохромного телемонитора.

На втором этапе было проведено сопряжение РЭМ с миниатюрным сканирующим туннельным микроскопом (СТМ), позволяющим достигать атомарного разрешения при исследовании проводящих образцов.

Миниатюрный туннельный микроскоп изготовлен на базе МИЭТ (Зеленоград) и предназначается для расширения верхней границы диапазона увеличения сканирующего электронного микроскопа (JSM- T20) вплоть до атомарного разрешения. СТМ крепится на гониометре JSM- T20. Управление СТМ осуществляется через вакуумный разъем (РС-32), смонтированный на технологическом фланце JSM- T-20, к которому подключался блок управления, сопряженный с компьютером. Рабочие характеристики туннельного микроскопа приведены в таблице 1.



Рисунок 2. Миниатюрный сканирующий туннельный микроскоп.

Таблица 1

1	Поле кадра	от 5/5 Ангстрем до 2 / 2 мкм
2	Глубина кадра	до 0.5 мкм

3	Размер наблюдаемых объектов	от атомов до частиц 0.3 / 0.3 мкм
4	Латеральное разрешение	до 0.1 Ангстрема
5	Разрешение по высоте	до 0.02 Ангстрема
6	Диапазон туннельного тока	от 10 пА до 10 нА, точность 5пА
7	Полоса предусилителя тока	0 – 50 кГц
8	Флуктуация тока при подводе	до 1 %
9	Туннельное напряжение	-5В...+5В, точность 1 мВ
10	Радиус острия зонда (эмиттера)	до 10 Ангстрем
11	Время работы зонда	до 100 часов
12	Рециклирование зонда	до 50 обновлений
13	Частота кадров	от 1 кадра/час до 1 кадра/с
14	Ёмкость кадра	от 10 / 10 до 30 000 / 30 000 точек
15	Размер образца	от 5/2 мм до 10/12 мм
16	Толщина образца	от 0.4 мм до 1.5 мм
17	Z-двигатель зонда	диапазон 2.6 мм, шаг 0.1 мкм
18	XY-двигатель зонда	диапазон 2.6 мм, шаг 0.3 мкм
19	Виброгашение	не требуется
20	Частота механ. резонанса	не менее 32 кГц
21	Экран	одинарный
22	Рабочее давление	от 10^3 до 10^{-9} Торр
23	Рабочие температуры	-50С ... +80С
24	Тип фланца подсоединения	от ДУ-40

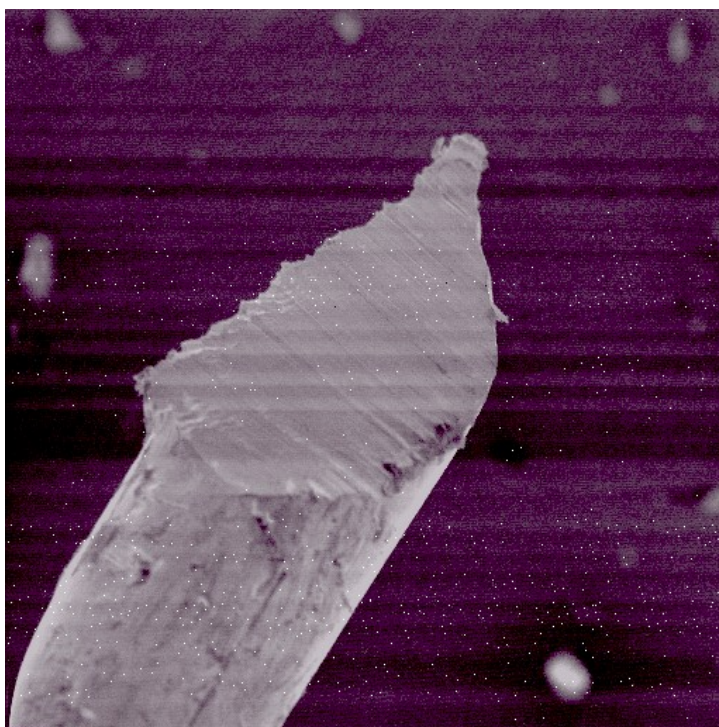


Рисунок 3. Изображение зонда туннельного микроскопа, полученное в режиме работы РЭМ, кадр 200 мкм/200 мкм.

Тестирование прибора проводилось на образце из пиролитического графита. На рисунке 3 показано изображение платиновой иглы – зонда туннельного микроскопа, который монтировался на гониометре электронного микроскопа (рис. 1). С помощью оптики электронного микроскопа было снято два кадра поверхности графита размерами 50 мкм / 50 мкм (рис. 4 а) и 5 мкм / 5 мкм (Рис. 4 б). В дальнейшем к поверхности образца подводилась игла туннельного микроскопа, и в туннельной моде было получено изображение поверхности с атомарным разрешением (Рис.

4 с). Дополнительной функцией модернизированного микроскопа является возможность исследования спектра плотности электронных состояний материала образца в выбранной на кадре точке с латеральным разрешением до 10 Å. Это дополнительная аналитическая возможность получения данных о

плотности электронных состояний, работе выхода электрона, распределении примесных уровней по поверхности образца.

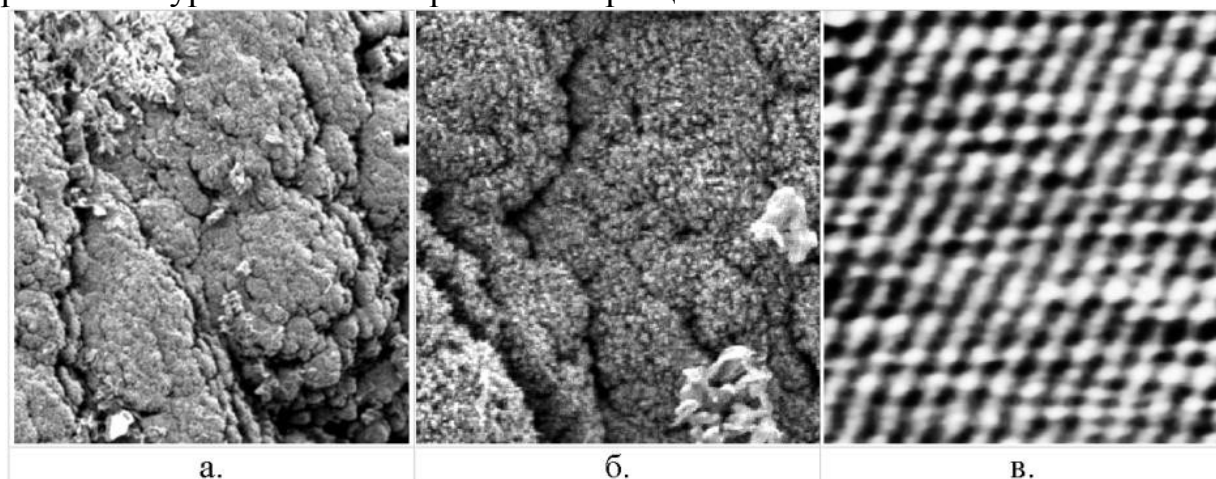


Рисунок 4. Изображение поверхности графита: (а.) кадр размером 50 мкм / 50 мкм, снятый в растровом электронном микроскопе, (б.) кадр размером 5 мкм / 5 мкм, предельное разрешение растрового электронного микроскопа, (в.) кадр высокого разрешения 30 Å/30 Å снятый в туннельном режиме.

Пример реализации туннельной спектроскопии приведен на рисунке 5. На пиролитический графит напылялась тонкая (~10 нм) пленка органического полупроводника NTCDA. Структура пленки исследовались в СТМ режиме. Энергетическая локализация заполненных и свободных молекулярных орбиталей NTCDA и, соответственно, транспортная ширина запрещенной зоны определялась методом туннельной спектроскопии. Для этого на полученном скане выбиралось поликристаллическое зерно, для которого снималась

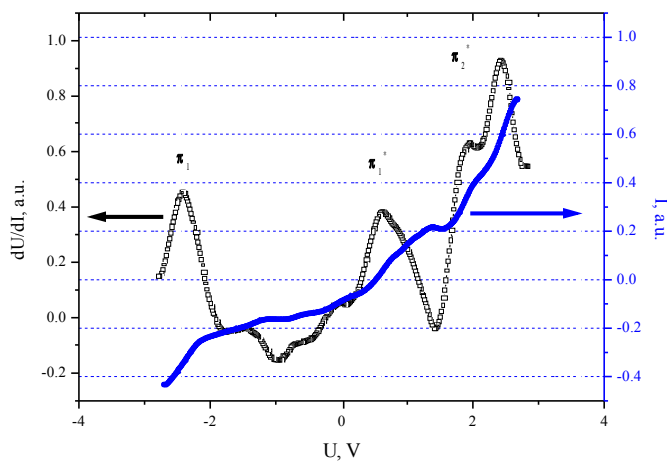


Рисунок 5. Вольтамперная (I/U) характеристика туннельного промежутка игла - пленка NTCDA и ее производная (dI/dU).

вольтамперная характеристика туннельного промежутка между зондом и образцом $I(U)$. Большой информативностью обладает производная вольтамперной характеристики dI/dU . В структуре производной dI/dU присутствуют два максимума, расположенные при потенциалах -2.7 В и $+0.56$ В. Расстояние между максимумами составляет $3,2$ В что определяет транспортную ширину запрещенной зоны NTCDA.

Таким образом в результате модернизации микроскопа JSM- T-20 увеличено предельное разрешение прибора до атомарного уровня, реализована функция передачи оцифрованного изображения исследуемой поверхности в память компьютера, а также возможность исследования электронной структуры образца на наноуровне методом туннельной спектроскопии.

Аминева М. В. ИСТОРИЯ ФИЗИКИ В КУРСЕ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ (НА ПРИМЕРЕ РАЗВИТИЯ ПОНЯТИЯ «ЭНЕРГИЯ»)

Оренбургский государственный университет, Оренбург

Учить физике трудно. Подчас приходится не только учить, но и переучивать. А изменить сложившиеся представления всегда труднее, чем сообщить знания о том, что раньше было совершенно неизвестным. Проходит полгода, и студент вновь утверждает прямо противоположное тому, чему его учили. Сколько раз приходилось слышать от учащихся, уже изучивших соответствующие разделы физики, что сила — причина движения и действует в направлении движения, или что сообщение газу тепла обязательно повышает его температуру! Живучесть неверных представлений не так уж удивительна. Причина ее кроется в том, что сама история физики — это история преодоления этих представлений внутри самой науки. От аристотелевской механики к механике Ньютона, а от нее — к теории относительности; от теплорода и попыток создания вечных двигателей — к закону сохранения энергии и современной термодинамике; крах механической картины мира, а затем электромагнитной...

Знакомство с историей науки вообще и, в частности, с историей развития физики в ВУЗе позволит студентам понять, что наши знания об окружающем мире непрерывно развиваются и совершенствуются и что современная наука, в частности, физика так же далека от завершения, как и сто лет тому назад. Перед ней по-прежнему стоит много неразрешенных проблем. И многие современные понятия, и законы, возможно, уже вскоре окажутся приближенными и потеряют свою фундаментальность.

Использование исторического материала на лекциях различных курсов общей физики дает возможность представить в полной мере процесс развития физики в целом и ее отдельных разделов как противоречивый процесс движения познания к абсолютной истине через истины относительные. Конечно, для этой цели исторический материал должен быть тщательно отобран. Он должен быть таким, чтобы при его изложении можно было показать противоречивый характер познания, выражающийся в том, что в процессе развития науки происходит борьба между старым и новым, между существующими уже теориями и представлениями; что в процессе развития науки происходят революционные перевороты во взглядах ученых, меняющие коренным образом основные представления и общие концепции.

Остановимся подробнее на рассмотрении основных этапов развития такого фундаментального понятия как «энергия».

Идею о сохранении движения в природе высказывали еще древнегреческие философы. Они полагали, что в окружающей нас природе все время происходят изменения, которые не могут никогда прекратиться.

После научного застоя средних веков идея о неуничтожимости и несотворимости движения возродилась и стала принимать более определенные, научные формы в XVII в.

В это время среди ученых и философов получил распространение взгляд о том, что все явления природы имеют механическое происхождение, все изменения в окружающих телах объясняются «механическим движением видимых тел, а также невидимых тел — маленьких частиц материи.

О том, что движение несотворимо и неуничтожимо, догадывались многие ученые и философы древности. Но, во-первых, их догадки не были подтверждены никакими определенными опытными доказательствами, а во-вторых, они не знали основной количественной меры движения и не могли указать, какая же величина, определяющая меру движения, сохраняется.

Впервые Декарт в XVII в. предложил за количественную меру движения брать количество движения — произведение массы на скорость mv . Декарт утверждал, что при всех процессах, происходящих в природе, при любых взаимодействиях количество движения сохраняется.

Другой ученый и философ Лейбниц, живший также в XVII в., но несколько позже Декарта, считал, что мерой движения является величина, равная произведению массы тела на квадрат его скорости mv^2 . Эту величину Лейбниц назвал «живой силой» и высказал закон сохранения «живых сил». По его мнению, тело либо сохраняет свою «живую силу» в явном виде, либо сохраняет ее в скрытом состоянии, находясь в покое. Например, если тело движется по инерции или вращается вокруг неподвижной оси, то оно сохраняет по величине свою скорость, а значит, и «живую силу».

Между последователями Декарта, с одной стороны, и Лейбницем и его учениками — с другой, возник спор. Первые утверждали, что в природе сохраняется количество движения, вторые считали, что сохраняется «живая сила». И те и другие приводили правильные примеры из области механики на сохранение mv и mv^2 (тогда еще не знали, что в выражение для кинетической энергии нужно ввести множитель $\frac{1}{2}$).

Теперь мы знаем, что речь шла о двух законах сохранения: о законе сохранения количества движения и о законе сохранения энергии, применительно к механике называемом законом сохранения «живых сил». И те и другие были правы потому, что речь шла о механическом движении.

За меру механического движения можно с одинаковым правом принимать как количество движения, так и «живую силу», т. е. кинетическую энергию, если при этом не рассматривать процессы превращения одного вида энергии в другой. Спор о мере движения постепенно затих, и большинство ученых перестали им интересоваться. Законами сохранения количества движения и сохранения «живых сил» продолжали пользоваться только при исследовании механических процессов, рассматривая эти законы лишь как чисто механические.

Однако были ученые, которые считали, что закон сохранения движения является всеобщим и очень важным законом природы. Среди этих ученых видное место занимал М. В. Ломоносов. Он полагал, что ни материя, ни

движение в природе не уничтожаются и не создаются. Это положение Ломоносов специально подчеркивал. Не считая этот закон новым, Ломоносов не приписывал себе его открытие. Он знал, что положение о сохранении материи, а затем и движения было высказано очень давно. Важно то, что Ломоносов широко использовал сформулированный закон в своих теоретических рассуждениях, применяя его ко многим физическим и химическим процессам. Так, например, он использовал закон сохранения движения при обосновании кинетической теории теплоты, полагая, что при трении видимое движение тел превращается в невидимое движение частиц тела, т. е. в тепловое движение; этим законом он пользовался, возражая против признания дальнодействующих сил и т. д.

Ломоносов знал о споре между последователями Декарта и Лейбница по поводу меры движения и считал этот вопрос важным. Но сам он нигде определенно не высказывался, чью сторону принимает, и по его рассуждениям нельзя однозначно решить вопрос, что он понимал под мерой движения.

Только в середине позапрошлого столетия был сделан новый шаг – установлен закон сохранения и превращения энергии. Основная заслуга в установлении закона сохранения и превращения энергии принадлежит трем ученым: немецкому врачу Р. Майеру, английскому физiku Дж. Джоулю и немецкому физиологу Г. Гельмгольцу.

Впервые о существовании этого закона заявил упомянутый выше немецкий врач Роберт Майер (1814—1878). Он напечатал в 1842 г. статью «Замечания о силах неживой природы». В этой статье Майер утверждал, что в природе существует несколько видов «сил», которые могут превращаться друг в друга в определенных количественных соотношениях.

Под термином «сила» Майер понимал то, что затем стало называться энергией. Во времена Майера слово «энергия» почти не употреблялось. Под словом же «сила» в его время понимали и собственно силу, и способность тела совершать работу. К «силам» природы Майер относил «силу» движения (кинетическую энергию), «силу» падения (потенциальную энергию), теплоту, электричество, «химическую силу». Все эти «силы», по Майеру, способны превращаться друг в друга. Он рассматривает различные примеры взаимного превращения «сил». А для случая превращения механических «сил» в теплоту и обратно он установил строгое количественное соотношение, т. е. механический эквивалент теплоты, и определил его значение.

При определении механического эквивалента теплоты Майер исходил из известного факта, заключающегося в следующем: для нагревания какой-либо массы газа на определенное число градусов нужно затратить разное количество теплоты в зависимости от того, нагревают ли эту массу газа при постоянном объеме или при постоянном давлении.

Таким образом, нужно различать удельную теплоемкость газа при постоянном объеме C_v и при постоянном давлении C_p .

Было известно также, что всегда C_p больше C_v . Это для нас понятно. Нагревание при постоянном объеме сопровождается увеличением внутренней

энергии газа. При нагревании газа при постоянном давлении поглощенное количество теплоты идет и на увеличение его внутренней энергии, и на работу, которую газ совершает при расширении. Ведь для того чтобы при нагревании газ сохранял постоянным свое давление, он должен увеличивать свой объем. Но такого рода рассуждения физики того времени еще не проводили, так как держались в основном теории теплорода. Майер же пришел к мысли, что теплота есть «сила» и что в природе происходят процессы, когда теплота превращается в работу, и поэтому дал правильное объяснение, почему C_p всегда больше C_v .

Больше того, зная C_p и C_v для воздуха, а также газовые законы, он смог подсчитать, какое количество теплоты тратится только на работу расширения, и определить механический эквивалент теплоты. Механический эквивалент теплоты получился у него равным 365 кгс·м/ккал. По современным данным, механический эквивалент теплоты с точностью до единицы равен 427 кгс·м/ккал.

Работа Майера не обратила на себя внимание. Среди физиков Майер не был известен: ведь он был врачом. К тому же его работа была напечатана в медицинском журнале «Анналы химии и фармацевтии». Это произошло потому, что Поггендорф — редактор известного физического журнала, издаваемого в Германии, — «Анналы физики» — отказывался печатать работы Майера, которые не содержали описания каких-либо новых опытов.

Тем временем английский физик Джеймс Прескотт Джоуль (1818—1889) пришел к открытию механического эквивалента теплоты. Он проделал различные эксперименты, на основе которых пришел к выводу о том, что теплорода не существует и что теплота есть движение. Об этом он говорил уже в 1845 г., а спустя два года высказал мысль о законе сохранения и превращения «силы» (энергии). Он писал, что теплота, «живая сила» (кинетическая энергия), «притяжение на расстоянии» (потенциальная энергия), свет взаимно превращаются друг в друга в определенных соотношениях.

Работы Джоуля публиковались в английских научных журналах. Хотя эти работы содержали описание опытов, тем не менее, и на них сначала не обратили серьезного внимания. В 1847 г. немецкий врач и естествоиспытатель Герман Гельмгольц (1821 — 1894), ставший в последующем одним из виднейших физиков второй половины XIX в., опубликовал небольшую книгу под названием «О сохранении силы».

В этом сочинении Гельмгольц утверждал, что в природе действуют закон сохранения «сил», дал количественные выражения для «сил» различной природы, т. е. математические выражения для различных видов энергии, и рассмотрел их превращение друг в друга.

Интересно, что Гельмгольц пришел к мысли о законе сохранения «сил», занимаясь исследованием по физиологии. В его время распространялось учение о так называемой жизненной силе. Согласно этому учению деятельность живого организма, будь то человек или какое-либо животное, управляется некой жизненной силой, которая не является

материальной. Гельмгольц был противником этого учения. Он полагал, что все явления, происходящие в организме человека или животного, имеют чисто материальное происхождение, что они протекают согласно законам физики и химии, жизненной же силы не существует.

Уже скоро ученые начали понимать, что открыт новый очень важный общий закон, который сначала называли законом сохранения силы, а затем, после того как установили новый термин, законом сохранения энергии.

Вместе с тем изменился взгляд и на понятие количества теплоты. Теплоту стали рассматривать как энергию, которой обладают частицы тела — молекулы и атомы. Эта энергия называется внутренней энергией, и ее величина связана с температурой тела, которая, определяется средним значением кинетической энергии частиц этого тела.

Количество теплоты — энергия, передаваемая от одного тела другому при теплообмене. При этом количество теплоты, переданное от одного тела другому, может нагреть это тело, а может превратиться частично или даже целиком в работу, совершенную этим другим телом.

Впервые понятие работы как величины, равной произведению силы на путь и на косинус угла между направлением силы и направлением движения, определил в конце XVIII в. Лазарь Карно — французский ученый. Этим понятием пользовались инженеры для практической оценки работы различных водяных и паровых двигателей.

Но в теоретической физике это понятие не употреблялось. Только после открытия закона сохранения и превращения энергии оно приобрело значение и в теоретической физике, и, особенно, в теории теплоты — термодинамике.

Какой же смысл имеют работа и количество теплоты с точки зрения закона сохранения и превращения энергии?

Когда происходит превращение какой-нибудь механической формы энергии в другую, всегда производится работа. Величина работы равна количеству превращенной энергии. Так, если при падении тела происходит превращение потенциальной энергии в кинетическую, то при этом совершается работа, равная mgh , где m — масса тела, h — высота, с которой тело упало, и g — ускорение свободного падения. Эта же величина равна и количеству кинетической энергии тела, в которую превратилась потенциальная энергия тела.

Второй пример: тело начинает двигаться по подставке с начальной скоростью v . Вследствие трения между телом и подставкой, это тело, в конце концов останавливается. При этом вся кинетическая энергия тела, равная в начале движения $mv^2/2$, превращается во внутреннюю энергию самого тела и подставки. В результате этого и тело и подставка нагреваются. При этом совершена работа, так как на тело действовала сила трения, и тело перемещалось.

Эта работа как раз равна той кинетической энергии, которую потеряло тело, и которая превратилась во внутреннюю энергию и тела и подставки.

Таким образом, работа производится тогда и только тогда, когда происходит превращение механической энергии в другую, и эта работа как раз

измеряет величину превращенной энергии.

Открытие закона сохранения и превращения энергии было очень важным событием в истории физики. Во-первых, этот закон являлся выражением общего учения о несотворимости и неуничтожимости движения; во-вторых, этот закон охватывал все физические явления: механику, теплоту, электричество, магнетизм и оптику. Он давал возможность рассматривать все эти явления с единой точки зрения, как различные формы движения, превращаемые друг в друга. Таким образом, закон объединяет все разделы физики в единую науку, которую до этого можно было рассматривать как собрание разных наук. Установление этого закона способствовало развитию диалектического взгляда на природу, согласно которому все явления в природе связаны между собой.

Используя исторический материал на лекциях по различным разделам курса общей физики, хотелось бы, конечно, привлечь интерес студентов к предмету, а также оказать помощь в становлении мировоззрения учащихся.

Евстифоров С.С. ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАНИЯ СВЯЗАННЫХ МАЯТНИКОВ С МАЛОЙ АМПЛИТУДОЙ

ОГТИ филиал ГОУ ОГУ, г. Орск

На региональной студенческой олимпиаде по общей физике в Ижевске в ноябре 2005г. одна из задач была сформулирована следующим образом.

Однородная нерастяжимая нить длиной L подвешена за один конец. По нижнему концу нити (в горизонтальном направлении) нанесен легкий удар. Оцените время прохождения импульса от нижнего к верхнему концу нити.

Даже в этой редакции у подавляющего числа участников олимпиады возникли непреодолимые сложности в решении этой задачи, хотя автором олимпиадной задачи подразумевалось введение допущений и получение приближенного результата. Максимально точное решение требует нахождение закона колебания нити, но эта задача чрезвычайно трудная.

Автором предлагается рассмотреть аналогичную задачу промежуточной сложности, дающую интересный результат.

Два однородных стержня связаны шарнирно и подвешены за свободный конец одного из них. По концу нижнего стержня наносят легкий удар. Определить закон колебания обоих стержней в зависимости от времени.

Рассмотрим решение данной задачи.

Примем, что масса каждого из стержней $\frac{m}{2}$, а длина $\frac{l}{2}$, v_0 - скорость конца второго стержня после удара.

Составим дифференциальное уравнение движения для второго стержня, рассмотрев систему отсчета, связанную с концом первого стержня.

Далее будем считать, что амплитуды колебаний малы, из чего следует:

1) $\sin \alpha_i \approx \operatorname{tg} \alpha_i \approx \alpha_i$, $\cos \alpha_i \approx 1$;

2) Центробежные силы и силы Кориолиса не учитываются, так как их действие пренебрежимо мало. Это связано с тем, что они пропорциональны квадрату угловой скорости и при бесконечно малых отклонениях являются бесконечно малыми величинами второго порядка, а все остальные силы и вращающие моменты – первого.

Для составления дифференциального уравнения движения второго стержня рассмотрим его вращение в неинерциальной системе, связанной с подвижным концом первого стержня (рис.1):

$$-P \cdot \frac{l}{4} \cdot \alpha_2 + M_{\text{инерц}} = J \cdot \ddot{\alpha}_2,$$

здесь $P = \frac{m}{2} \cdot g$ - вес стержня,

$$J = \frac{\frac{m}{2} \cdot \left(\frac{l}{2}\right)^2}{3} = \frac{m \cdot l^2}{24} \text{ - момент инерции стержня,}$$

$$M_{инерц} = \int_0^{l/2} dm \cdot a_1 \cdot r = \int_0^{l/2} \frac{m \cdot dr}{l} \cdot \ddot{\alpha}_1 \cdot \frac{l}{2} \cos(\alpha_2 - \alpha_1) \cdot r = \frac{m \cdot \ddot{\alpha}_1}{2} \int_0^{l/2} r \cdot dr = \frac{m \cdot l^2}{16} \cdot \ddot{\alpha}_1 -$$

момент сил инерции.

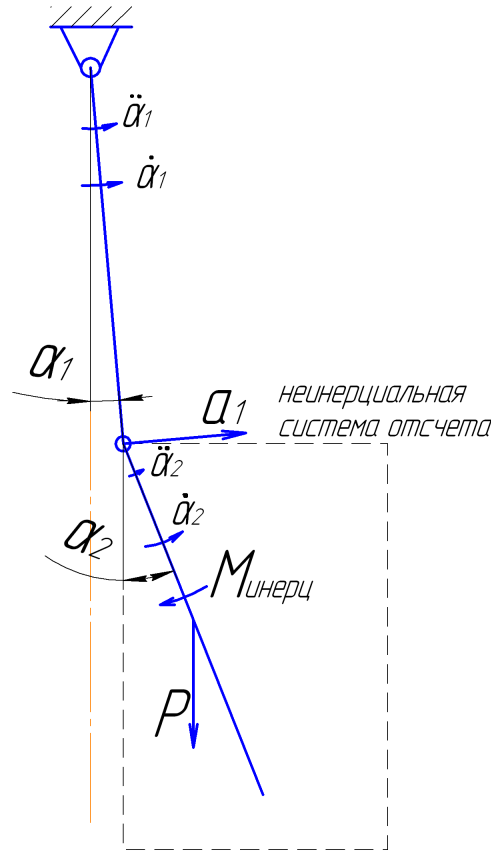


Рис.1

$$-\frac{mgl}{8} \cdot \alpha_2 - \frac{ml^2}{16} \cdot \ddot{\alpha}_1 = \frac{ml^2}{24} \cdot \ddot{\alpha}_2$$

$$g\alpha_2 + \frac{l}{3} \cdot \ddot{\alpha}_2 = -\frac{l}{2} \cdot \ddot{\alpha}_1$$

Чтобы составить уравнение для первого стержня найдем усилия, возникающие в шарнире. Для этого рассмотрим вращение второго стержня в системе отсчета, связанной с его свободным концом, т.е. вращение относительно свободного конца (рис.2).■

$$P \frac{l}{4} \alpha_2 + M_{инерц} + R_{12}^r \frac{l}{2} = J \ddot{\alpha}_2 ,$$

$$M_{инерц} = \int_0^{l/2} dm \cdot a_2 \cdot r = \int_0^{l/2} \frac{m \cdot dr}{l} \cdot \left(\ddot{\alpha}_2 \frac{l}{2} + \ddot{\alpha}_1 \frac{l}{2} \cos(\alpha_2 - \alpha_1) \right) \cdot r = \frac{m \cdot (\ddot{\alpha}_1 + \ddot{\alpha}_2)}{2} \int_0^{l/2} r \cdot dr = \frac{m \cdot l^2}{16} \cdot (\ddot{\alpha}_2 + \ddot{\alpha}_1)$$

$$\frac{mgl}{8} \alpha_2 + \frac{ml^2}{16} (\ddot{\alpha}_1 + \ddot{\alpha}_2) + R_{12}^r \frac{l}{2} = \frac{ml^2}{24} \ddot{\alpha}_2$$

$$R_{12}^r = \frac{ml}{12} \ddot{\alpha}_2 - \frac{ml}{8} (\ddot{\alpha}_1 + \ddot{\alpha}_2) - \frac{mg}{4} \alpha_2 = -\frac{ml}{24} \ddot{\alpha}_2 - \frac{ml}{8} \ddot{\alpha}_1 - \frac{mg}{4} \alpha_2$$

$$R_{12}^n - P \cos \alpha_2 + \frac{m}{2} \left(\ddot{\alpha}_1 \frac{l}{2} \right) (\alpha_2 - \alpha_1) = 0 ,$$

причем $\frac{m}{2} \left(\ddot{\alpha}_1 \frac{l}{2} \right) (\alpha_2 - \alpha_1) = 0$

$$R_{12}^n = P = \frac{m}{2} g$$

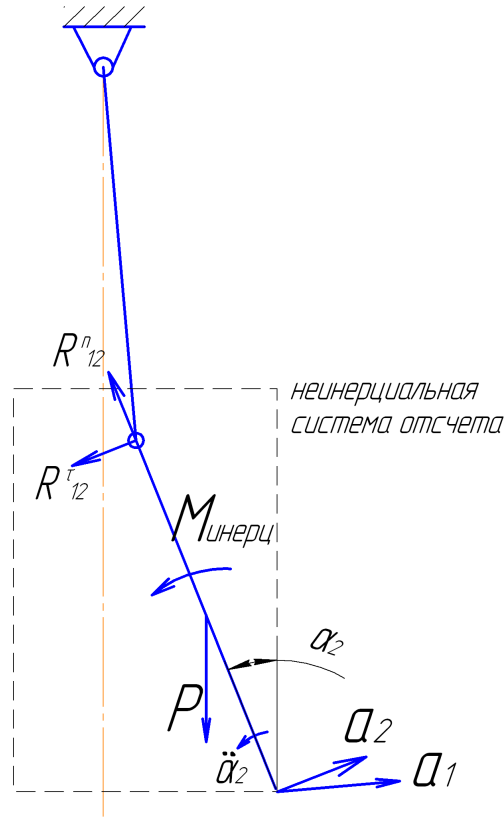


Рис.2

Теперь можно составить уравнение вращения для первого стержня (рис.3):

$$- P \frac{l}{4} \alpha_1 + R_{21}^t \cos(\alpha_2 - \alpha_1) \frac{l}{2} + R_{21}^n \frac{l}{2} (\alpha_2 - \alpha_1) = J \ddot{\alpha}_1,$$

где $R_{21}^t = R_{12}^t$, $R_{21}^n = R_{12}^n$.

Тогда

$$- \frac{mgl}{8} \alpha_1 - \frac{ml^2}{48} \ddot{\alpha}_2 - \frac{ml^2}{16} \ddot{\alpha}_1 - \frac{mgl}{8} \alpha_2 + \frac{mgl}{4} (\alpha_2 - \alpha_1) = \frac{ml^2}{24} \ddot{\alpha}_1$$

$$3g\alpha_1 + \frac{5l}{6} \ddot{\alpha}_1 = g\alpha_2 - \frac{l}{6} \ddot{\alpha}_2$$

Таким образом получили систему:

$$\begin{cases} g\alpha_2 + \frac{l}{3} \ddot{\alpha}_2 = -\frac{l}{2} \ddot{\alpha}_1; \\ g\alpha_2 - \frac{l}{6} \ddot{\alpha}_2 = 3g\alpha_1 + \frac{5l}{6} \ddot{\alpha}_1; \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} 3g\alpha_2 = 6g\alpha_1 - \frac{l}{2} \ddot{\alpha}_1 + \frac{5l}{3} \ddot{\alpha}_1; \\ g\alpha_2 + \frac{l}{3} \ddot{\alpha}_2 = -\frac{l}{2} \ddot{\alpha}_1; \end{cases}$$

Т.е. $\alpha_2 = 2\alpha_1 + \frac{7l}{18g} \ddot{\alpha}_1 \Rightarrow \ddot{\alpha}_2 = 2\ddot{\alpha}_1 + \frac{7l}{18g} \ddot{\alpha}_1$

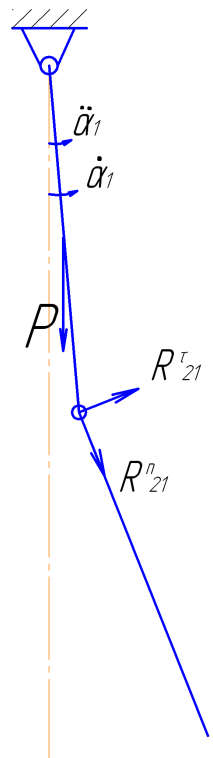


Рис.3

Подставляя последнее выражение во второе уравнение системы, получим дифференциальное уравнение относительно α_1 :

$$2g\alpha_1 + \frac{7l}{18}\ddot{\alpha}_1 + \frac{2l}{3}\ddot{\alpha}_1 + \frac{7l^2}{54g}\alpha_1 = -\frac{l}{2}\ddot{\alpha}_1$$

$$\frac{7l^2}{54g}\alpha_1 + \frac{14l}{9}\ddot{\alpha}_1 + 2g\alpha_1 = 0 \quad \text{ищем решение в виде } \alpha_1 = e^{\omega \cdot t}$$

$$\left(\frac{7l^2}{54g}\omega^4 + \frac{14l}{9}\omega^2 + 2g \right) e^{\omega \cdot t} = 0$$

$$\omega^2 = \frac{-\frac{7l}{9} \pm \sqrt{\left(\frac{7l}{9}\right)^2 - \frac{7l^2}{27}}}{\frac{7l^2}{54g}} = \frac{6g}{7l}(-7 \pm 2\sqrt{7})$$

Т.к. $(-7 \pm 2\sqrt{7}) < 0$, то будут иметь место гармонические колебания с двумя частотами: $\omega_1 = \sqrt{\frac{6g}{7l}(7 - 2\sqrt{7})}$, $\omega_2 = \sqrt{\frac{6g}{7l}(7 + 2\sqrt{7})}$

$$\begin{cases} \alpha_1 = a_1 \sin \omega_1 t + b_1 \cos \omega_1 t + A_1 \sin \omega_2 t + B_1 \cos \omega_2 t; \\ \alpha_2 = a_2 \sin \omega_1 t + b_2 \cos \omega_1 t + A_2 \sin \omega_2 t + B_2 \cos \omega_2 t; \end{cases} \quad , \text{ где } a_i, b_i, A_i, B_i - \text{ константы}$$

Из начальных условий:

$$\alpha_1(0) = \alpha_2(0), \quad \dot{\alpha}_1(0) = 0$$

$$\ddot{\alpha}_1(0) = \ddot{\alpha}_2(0), \quad \dot{\alpha}_2(0) = \frac{v_0}{l/2} = \omega_0$$

$$\begin{cases} \alpha_1 = a_1 \left(\sin \omega_1 t - \frac{\omega_1}{\omega_2} \sin \omega_2 t \right); \\ \alpha_2 = \frac{\omega_0}{\omega_2} \sin \omega_2 t + a_2 \left(\sin \omega_1 t - \frac{\omega_1}{\omega_2} \sin \omega_2 t \right). \end{cases}$$

Значения a_1 и a_2 найдем из уравнения $g\alpha_2 + \frac{l}{3}\ddot{\alpha}_2 = -\frac{l}{2}\ddot{\alpha}_1$, сгруппировав после подстановки члены с множителями $\sin \omega_1 t$ и $\sin \omega_2 t$:

$$a_1 = \frac{4\omega_0}{g \frac{l}{2}\omega_1 \cdot (\omega_2^2 - \omega_1^2)} \cdot \left(\frac{l\omega_2^2}{6} - \frac{g}{2} \right) \cdot \left(\frac{g}{2} - \frac{l\omega_1^2}{6} \right)$$

$$a_2 = \frac{2\omega_0 \cdot \omega_1}{g(\omega_2^2 - \omega_1^2)} \left(\frac{l\omega_2^2}{6} - \frac{g}{2} \right)$$

Если проанализировать зависимости $\alpha_1(t)$ и $\alpha_2(t)$, то можно получить интересный результат: никогда не наступит такой момент, когда оба стержня неподвижны, то есть картина напоминает распространение волн вдоль системы стержней. Этот результат вытекает из иррациональности отношения $\frac{\omega_1}{\omega_2}$.

Теперь попробуем оценить время прохождения импульса от нижнего конца нити к верхнему. При замене нити шарнирно связанными стержнями это

время примерно равно времени, за которое верхний стержень в первый раз отклонится на максимальную величину.

Для случая с одним стержнем: $t = \frac{T}{4} = \frac{2\pi}{4} \sqrt{\frac{2l}{3g}} = 1.282 \sqrt{\frac{l}{g}}$

Для двух стержней: $t = \frac{2\pi}{\omega_1 + \omega_2} = 1.409 \sqrt{\frac{l}{g}}$

Можно предположить, что с увеличением числа стержней время отклонения верхнего стержня будет возрастать. Это не противоречит предполагаемой авторами задачи оценке: $t = 2 \sqrt{\frac{l}{g}}$

Жежера Н.И., Абубакиров Д.Р. ЧАСТОТА ПРОДОЛЬНОЙ ВИБРАЦИИ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ТРУБКИ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ ИЗДЕЛИЙ НА ГЕРМЕТИЧНОСТЬ

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург

На жидкостный поршень в горизонтальной трубке устройств испытаний изделий на герметичность действует капиллярная сила, определяемая по формуле Лапласа [1] и зависящая от поверхностного натяжения жидкости поршня и радиуса горизонтальной трубки. Действие капиллярной силы на жидкостный поршень приводит к тому, что при испытаниях изделий на герметичность устройствами с горизонтальной трубкой, перемещение жидкостного поршня начинается только тогда (то есть с существенным запаздыванием), когда сила связанная с утечками газа из изделия превышает капиллярную силу. Это затрудняет испытания на герметичность изделий, особенно классов герметичности А и В. Предложено [2] устройство для испытаний изделий на герметичность, в котором действие капиллярных сил на жидкостный поршень компенсируется вибрацией горизонтальной трубки.

Схема устройства испытаний изделий на герметичность с использованием горизонтальной трубки, вибрируемой вдоль ее оси, приведена на рисунке 1.

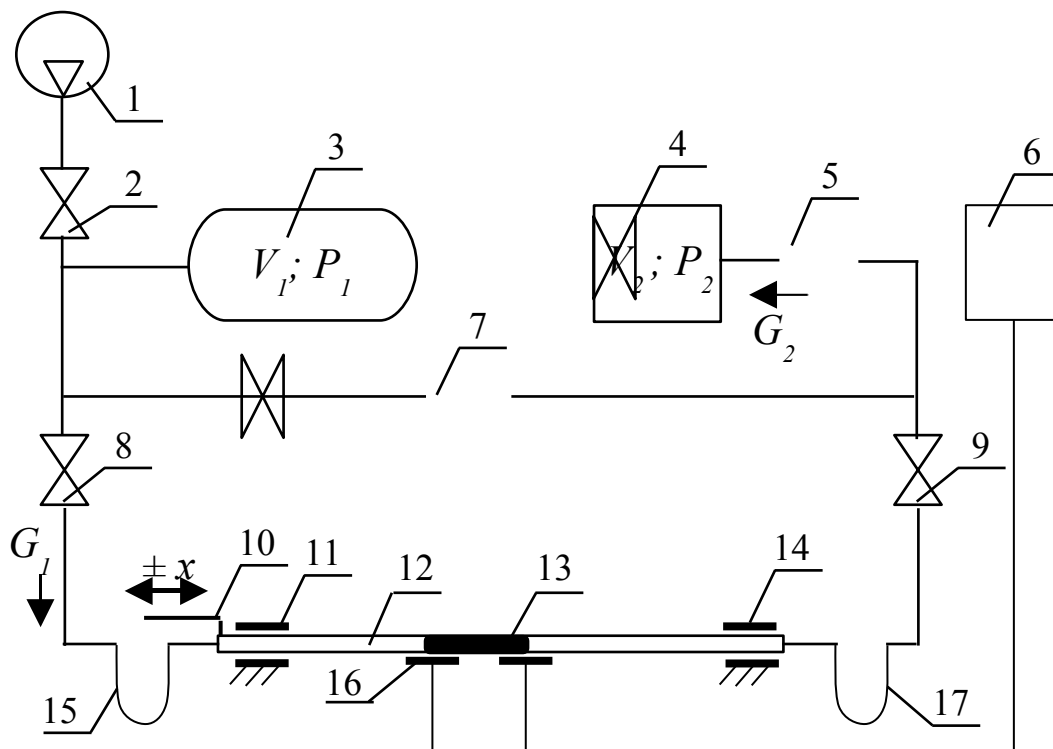


Рисунок 1 - Схема устройства испытаний изделий на герметичность с использованием горизонтальной трубки, вибрируемой вдоль ее оси

Устройство содержит источник контрольного газа (сжатого воздуха) 1, соединенный через вентиль 2 с эталонной емкостью 3, а через вентиль 8 и гибкий трубопровод 15 - с левой частью горизонтальной трубки 12. Изделие 4 через вентили 5 и 9 и гибкий трубопровод 17 подключено к правой части горизонтальной трубки 12. В горизонтальной трубке 12 расположен жидкостный поршень 13. Измерительный преобразователь 16 совместно с вторичным регистрирующим прибором 6 предназначены для измерения перемещения жидкостного поршня в горизонтальной трубке при испытаниях изделия 4 на герметичность. Продольная вибрация к горизонтальной трубке (вдоль ее оси), расположенной в направляющих 11 и 14, подводится через толкатель 10 от источника вибрации.

Испытания изделий на герметичность с использованием горизонтальной трубки при сообщении трубке продольной вибрации реализуется следующим образом. Исходя из объема изделия 4, допустимой утечки и заданной погрешности определяют объем эталонной емкости 3. Заполняют газом от источника 1 газа под контрольным давлением эталонную емкость 3 и изделие 4 после открытия вентиля 2, 7 и 5. Закрывают вентиль 2, открывают вентили 8 и 9, сообщают горизонтальной трубке 12 вибрацию вдоль ее оси, закрывают вентиль 7 и проводят испытания изделия 4 на герметичность в течение установленного промежутка времени. Негерметичность изделия 4 определяют по показаниям вторичного прибора 6, регистрирующего перемещение жидкостного поршня 13 в горизонтальной трубке 12, за время испытаний.

Определение необходимой частоты продольной вибрации горизонтальной трубки устройств испытаний изделий на герметичность проведем на основании следующих положений. Принимаем, что изделие 4 герметично, утечки газа из него в атмосферу отсутствуют и жидкостный поршень 13 в горизонтальной трубке 12 не перемещается за время испытания изделия на герметичность. Чтобы при этих условиях жидкостный поршень 13 начал перемещаться в горизонтальной трубке 12 от вибрации трубки, необходимо создать инерционные силы N_u , Н, сообщаемые жидкостному поршню от вибрации горизонтальной трубки, которые должны быть больше суммы сил:

- силы N_σ , Н, удерживающий жидкостный поршень в неподвижном состоянии за счет действия сил поверхностного натяжения жидкости поршня со стенками горизонтальной трубки и

- силы N_E , Н, препятствующей перемещению жидкостного поршня за счет упругости газа в устройстве испытаний изделий на герметичность при перемещении жидкостного поршня в трубке.

Таким образом
$$N_u > N_\sigma + N_E. \quad (1)$$

Инерционные силы N_u , Н, сообщаемые жидкостному поршню от вибрации горизонтальной трубки, определяются по выражению второго закона Ньютона

$$N_u = m_n d^2 x(t) / dt^2, \quad (2)$$

где m_n – масса жидкостного поршня в горизонтальной трубке, кг;
 $d^2 x(t) / dt^2$ – ускорение перемещения жидкостного поршня в горизонтальной трубке, м/с².

Принимаем, что перемещение жидкостного поршня в горизонтальной трубке $x(t)$, м, от возбудителя вибрации происходит в соответствии с выражением

$$x(t) = x_{max} \sin \omega \cdot t = A_k \sin \omega \cdot t, \quad (3)$$

где $x_{max} = A_k$ – максимальная амплитуда колебаний жидкостного поршня в трубке (перемещений вдоль горизонтальной оси трубки), м;

t – время, с;

ω – круговая частота колебаний жидкостного поршня, с⁻¹, которая взаимосвязана с частотой колебаний f , Гц, выражением

$$\omega = 2\pi \cdot f. \quad (4)$$

Первая и вторая производные от выражения (3) принимают следующие виды:

$$dx(t)/dt = A_k \omega \cos \omega \cdot t, \quad d^2 x(t)/dt^2 = -A_k \omega^2 \sin \omega \cdot t. \quad (5)$$

Силу N_σ , Н, удерживающую жидкостный поршень в неподвижном состоянии за счет действия сил поверхностного натяжения жидкости поршня со стенками горизонтальной трубки определим по формуле Лапласа в зависимости от поверхностного натяжения жидкости и радиуса горизонтальной трубки (сила поверхностного натяжения жидкости в трубке действует по длине внутренней окружности сечения трубки $\pi \cdot d_{mp}$)

$$N_\sigma = \sigma \cdot \pi \cdot d_{mp}. \quad (6)$$

где σ – поверхностное натяжение жидкости в трубке, Н/м;

d_{mp} – диаметр горизонтальной трубки, м.

Формула (6) отражает численные значения силы, возникающей от действия поверхностного натяжения жидкости. Однако при рассмотрении движения жидкостного поршня в горизонтальной трубке, то есть при рассмотрении динамики явлений эта сила проявляется подобно силе сухого трения при относительном перемещении изделий и может быть представлена выражением

$$N_{\sigma} = \begin{cases} - \sigma \cdot \pi \cdot d_{mp}, & \text{при } dx(t)/dt < 0; \\ + \sigma \cdot \pi \cdot d_{mp}, & \text{при } dx(t)/dt > 0 \end{cases} \quad (7)$$

Сила N_E , Н, препятствующая перемещению жидкостного поршня за счет упругости газа в устройстве испытаний изделий на герметичность при перемещении жидкостного поршня в трубке, определяется по выражению [3]

$$N_E = E_{\varepsilon} \pi^2 d_{mp}^4 x(t) / 16V_2, \quad (8)$$

где E_{ε} – модуль упругости газа в устройстве испытания изделий на герметичность с использованием горизонтальной трубки, Па;

V_2 – объем изделия, испытываемого на герметичность, м³.

Если в выражение (1) подставить выражения (2), (7) и (8) с учетом выражений (3) и (5), тогда получим

$$- m_n A_k \omega^2 \sin \omega \cdot t > \frac{E_{\varepsilon} \pi^2 d_{mp}^4}{16V_2} A_k \sin \omega \cdot t + \begin{cases} - \sigma \cdot \pi \cdot d_{mp}, & \text{при } dx(t)/dt < 0; \\ + \sigma \cdot \pi \cdot d_{mp}, & \text{при } dx(t)/dt > 0. \end{cases} \quad (9)$$

Первое выражение в этом неравенстве отражает движение жидкостного поршня в горизонтальной трубке влево, а второе выражение – вправо. Учитывая изменения знаков $\sin \omega \cdot t$ за полный период вибрационного перемещения горизонтальной трубки, видно что эти два неравенства идентичны, то есть имеют вид

$$m_n A_k \omega^2 \sin \omega \cdot t > \sigma \cdot \pi \cdot d_{mp} - E_{\varepsilon} \pi^2 d_{mp}^4 A_k \sin \omega \cdot t / 16V_2. \quad (10)$$

Если $\sin \omega \cdot t = 1$, тогда

$$m_n A_k \omega^2 > \sigma \cdot \pi \cdot d_{mp} - E_{\varepsilon} \pi^2 d_{mp}^4 A_k / 16V_2. \quad (11)$$

Масса жидкостного поршня в горизонтальной трубке m_n , кг

$$m_n = \pi \cdot d_{mp}^2 l_n \rho_{ж} / 4, \quad (12)$$

где l_n – длина жидкостного поршня, м;

$\rho_{ж}$ – плотность жидкости поршня в горизонтальной трубке, кг/м³.

После подстановки выражения (12) в неравенство (11) получим, что круговая частота механических колебаний (вибрации) горизонтальной трубки

$$\omega > \sqrt{\frac{4\sigma}{A_k d_{mp} l_n \rho_{жс}} - \frac{E_z \pi \cdot d_{mp}^2}{4V_2 l_n \rho_{жс}}} \quad (13)$$

Если принять, что $\sigma = 72,5 \cdot 10^{-3}$ Н/м (для воды); $A_k = 0,5 \cdot 10^{-3}$ м; $d_{mp} = 3 \cdot 10^{-3}$ м; $l_n = 20 \cdot 10^{-3}$ м; $\rho_{жс} = 998$ кг/м³; $E_z = 1,27 \cdot 10^6$ Па (при давлении испытания изделия, равном 1 МПа); $V_2 = 0,4 \cdot 0,4 \cdot 0,2$ м³ = 0,032 м³, тогда

$$\omega > \sqrt{\frac{4 \cdot 72,5 \cdot 10^{-3}}{0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 10^{-3} \cdot 20 \cdot 10^{-3} \cdot 998} - \frac{1,27 \cdot 10^6 \pi \cdot 9 \cdot 10^{-6}}{4 \cdot 0,032 \cdot 20 \cdot 10^{-3} \cdot 998}} = 98,25 \text{ с}^{-1}.$$

По формуле (4) определяем необходимую частоту вибрации горизонтальной трубки при испытаниях изделий на герметичность $f > \omega / 2\pi = 98,25/6,28 = 15,64$ Гц.

Таким образом установлено аналитическое выражение, позволяющее определить частоту вибрации горизонтальной трубки при контроле герметичности изделий, при которой действие капиллярной силы на жидкостный поршень компенсируется вибрацией горизонтальной трубки. При вибрации горизонтальной трубки с частотой, которая выше установленной, жидкостный поршень в горизонтальной трубке перемещается от силы, связанной с утечками газа из изделия, начиная от значения близкого к нулю, а не от значения, зависящего от капиллярной силы при отсутствии вибрации трубки.

Список использованных источников:

1. Н.И. Жежера, Д.Р. Абубакиров. Влияние касательных и капиллярных напряжений на движение и диаметр жидкостного поршня горизонтальной трубки устройств испытаний изделий на герметичность // Законодательная и прикладная метрология – 2006. - №4. – С. 49-52.
2. Патент на изобретение № 2282167. Устройство контроля герметичности изделий. Авторы изобретения Н.И. Жежера, А.В. Афанасьев. Приоритет от 20.12. 2004. Оpubл. 20.08. 2006. Бюл. №23.
3. Н.И. Жежера. Автоматизация испытаний изделий на герметичность. – Оренбург: РИК ГОУ ОГУ, 2005.- 475 с.

**Кучеренко М.Г., Русинов А.П., Чмерева Т.М., Игнатъев А.А.,
Гуныков В.В., Степанов В.Н., Палем А.А. СОЗДАНИЕ
ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ НАНОСТРУКТУР НА ОСНОВЕ
ЦЕПНЫХ МАКРОМОЛЕКУЛ И ДИАГНОСТИКА ИХ
СОСТОЯНИЙ СРЕДСТВАМИ ЛАЗЕРНОЙ КИНЕТИЧЕСКОЙ
СПЕКТРОФЛУОРИМЕТРИИ И КОГЕРЕНТНОЙ
ФОТОМЕТРИИ**

Оренбургский государственный университет, Оренбург

Анализ современного состояния техники новых поколений и «критических» технологий в ряде наиболее развитых стран показывает, что с начала 90-х годов быстро прогрессирующим направлением является микро- и наносистемная техника, интегрировавшая в себе классические принципы электроники, физики конденсированного состояния, механики, оптики, физической кинетики, химии и биологии, и реализовавшая их в технических решениях на микроуровне.

Внедрение в практику изделий микросистемной техники для научно-технического прогресса трудно переоценить. Это сверхминиатюрные источники и преобразователи движения и энергии, наномеханизмы и наномшины, адаптивно-сенсорные конструкционные и функциональные материалы. Имеет место тенденция интеграции микро-(опто) электроники и микросистемной техники с процессами биотехнологии и биодиагностики.

Особое значение имеет интеграция микро- и наносистемной техники при решении задач в области:

- микробиотехнологии, профилактики и лечения заболеваний, обеспечивая возможность сверхлокального проведения диагностических процедур и избирательного нанок количественного химико-фармацевтического воздействия;
- нанозондовой технологии и нанометрологии, требующих специальных устройств нанопозиционирования и нанокализации воздействий.

Весьма перспективными объектами для перечня потенциальных «наномашин» представляются макромолекулярные клубки, глобулы и другие третичные полимерные структуры как естественного (белки, нуклеиновые кислоты), так и искусственного происхождения. В отношении молекул биополимеров уже давно известно, что они представляют собой молекулярные машины, т.е. конструктивные функциональные устройства, созданные природой. Некоторые особенности работы этих наномашин могут быть использованы при создании искусственных движителей молекулярного уровня. В этой связи, кроме проблемы собственно синтеза наноустройств весьма актуальными являются разработки методов диагностики структуры и

динамических состояний наносистем, которые по своей природе являются мезоскопическими объектами, подверженными влиянию термодинамических и др. флуктуаций. Соответствующие способы мониторинга состояний нанодвижителей должны учитывать специфику таких систем, обеспечивать адекватность информации о параметрах их состояния. Другими словами, зондирующий наноструктуру агент должен «мягко» влиять на объект, не возмущая существенным образом его характеристики. Укорочение длины волны зондирующего излучения до нанометров переводит энергию квантов в жесткий спектральный диапазон. Обработка макроцепи высокоэнергетичными квантами может вызвать деструкцию системы, поэтому важно использовать излучение мягкого спектрального состава, но включить на одном из этапов зондирования межмолекулярную передачу энергии электронного возбуждения с характерным пространственным масштабом **1-5 нм**. Особенности передачи энергии электронного возбуждения в структурированных наносистемах в настоящее время изучены недостаточно полно. Особенно велик пробел в отношении данных о динамических характеристиках наноструктур. Детальному исследованию этой проблемы с выходом на прикладные ее аспекты посвящены исследования, проводимые авторами в ЦЛИБФ ОГУ.

Молекулярное моделирование свойств наноструктур на основе молекул биологических полимеров необходимо на предварительной стадии выбора оптимального варианта конструкции при решении задач создания функциональных устройств наносистемной техники с использованием «природных» структурных элементов в виде молекул белков и ДНК.

Перспективными молекулярными процессами в биологических (или синтетических) полимерах, допускающими внешнее управление, на базе которого могут быть созданы функциональные наноустройства, представляются следующие микро- и нанопроцессы:

-  Лазероиндуцированный коллапс макроцепной структуры, адсорбированной на поверхности наночастицы. Возникновение фазового перехода «клубок-глобула» при локальном тепловыделении посредством молекулярных тепловых сенсibilizаторов.
-  Управляемый затор нанокapилляров, содержащих макромолекулярные агрегаты в виде клубково-глобулярных формирований. Очистка нанотруб и локализация «опушечной» наночастицы (т.е. твердой наночастицы, адсорбировавшей макроцепь, сформировавшую слой «опушки» из макромолекулярных петель). Использование «опушечных» наночастиц в качестве контролируемо осаждаемых наноконтейнеров. Индуцированное внешним полем (ИК, СВЧ, УЗИ) разрушение оболочки наноконтейнера.
-  Изменение параметров голографической решетки, записанной на дисперсной наноструктуре с контролируемыми характеристиками. Запись голографических решеток в пленках и растворах биологических полимеров (ДНК и белков).

-   Макромолекулярный нанолифтинг свободной плоскости, размещенной на полимерных цепях, адсорбированных твердой подложкой.
-   Экситонный транспорт энергии в макромолекулярных цепях, индуцированный лазерным двухквантовым воздействием на молекулярные донорные центры в полимерных пленках.
-   Термодиффузионная лазерная инъекция молекул кислорода в глобулярные наноструктуры на основе молекул биополимеров.

Возникающие при этом проблемы мониторинга и пути их решения:

1. Мониторинг конформационных состояний макроцепей, размещенных в нанопорах сферической и цилиндрической формы, а также в плоских наноцелях. Регистрация и расшифровка кинетики кросс-аннигиляции электронных возбуждений в распределенной «рыхлой» структуре полимерных звеньев.
2. Мониторинг конформационных состояний макромолекулярных жидких кристаллов в нанопорах твердых материалов на основе кинетических измерений поляризационных характеристик люминесцентных зондов.
3. Мониторинг конформационного состояния макромолекулярных наноструктур по отклику сигнала люминесцентных зондов на внешнее магнитополевое воздействие.
4. Молекулярно-динамическое описание фазового перехода клубок- глобула при локальном тепловыделении посредством молекулярных тепловых сенсibilizаторов.
5. Молекулярно-динамическое моделирование коллапса структуры полимерной цепи в поле поверхности подложки.

Таким образом, одной из важных задач, которую необходимо будет решить в ближайшее время является разработка бесконтактного (люминесцентно-оптического) метода детектирования изменений структуры и конформационной подвижности отдельных макромолекул синтетических и биологических полимеров (белков и ДНК) в клубковом и глобулярном состоянии (жидкие разбавленные растворы), которые индуцированы действием физических факторов и биологически активных веществ (лекарств и красителей) для идентификации состояний макромолекулярной наноструктуры, лазерного управления переходами в ней и установления механизмов влияния на биополимерные системы некоторых классов лекарственных препаратов и оптического излучения различного спектрального состава и мощности.

Индукцированные внешними факторами изменения структуры и динамических состояний полимерной глобулы предлагается регистрировать на основе измерения сигналов люминесцентных зондов, внедренных в полимерные цепи и изменений характеристик этих сигналов, вызванных

взаимодействием люминофора с акцепторными молекулярными центрами, также закрепленными на макроцепи.

В этой связи, возникает необходимость решения следующих *сопутствующих* задач:

- определить, каким образом конформационное движение макромолекулярной цепи модулирует кинетику тушения (и аннигиляции) возбужденных центров, сорбированных полимерной цепью.
- построить математическую модель кинетики безизлучательной передачи энергии электронного возбуждения между низкомолекулярными зондами, закрепленными на макроцепи.
- Разработать методику обработки результатов измерений люминесцентных сигналов на основе модели модуляции процесса передачи энергии конформационными движениями сегментов макроцепи

Это позволит получить адекватное представление о динамике полимерных клубков и глобул, дополнив информацию о характере движения фрагментов макромолекулы, накопленную в ходе исследований полимерных растворов другими физическими методами (вязкозиметрия, светорассеяние, малоугловое рентгеновское и нейтронное рассеяние и др.).

Кроме усовершенствования методов люминесцентной диагностики планируется развитие техники фотометрической регистрации (наведенного оптического поглощения фотомодифицированных наноструктур), а также когерентного рассеяния света на концентрационных решетках, сформированных из фрагментов цепей (методы нестационарной голографии). Голографический метод регистрации предполагается применить для определения степени лазерной деструкции полимерных цепей ДНК и белков на основе двухквантового радиационного воздействия на молекулярный сенсibilизатор, образующий с биополимером единый комплекс, светочувствительный к видимому спектральному диапазону. Смежной частью этой проблемы является задача определения параметров продуктов модификации и их распределений в случае дисперсного выхода - то есть оценка эффективности лазерной модификации. Разработке методов прецизионной диагностики последствий фотолитического действия лазерного излучения может быть уделено большое внимание на этапе выполнения проекта РФФИ-02-03-96467-p2002«Урал»

**«РАЗРАБОТКА ЛЮМИНЕСЦЕНТНО-ОПТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ СТРУКТУРЫ И ДИНАМИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК БИОПОЛИМЕРОВ И МЕМБРАННЫХ КОМПЛЕКСОВ,
ВЫЗВАННЫХ ДЕЙСТВИЕМ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ И
ФОТОСЕНСИБИЛИЗАТОРОВ»**

Результаты, полученные в ходе реализации проекта, позволили ввести предварительные критерии для определения классов полимерных нанообъектов, допускающих адекватную идентификацию их структурных и динамических состояний, а также перспективных лазерных методов воздействия на такие объекты с целью управления их состоянием и движением.

Кроме того, важным является решение фундаментальной проблемы определения характеристик переноса и трансформации энергии электронного возбуждения в молекулярных системах на твердых поверхностях, включая адсорбированные макромолекулярные структуры и конденсированные 2D фазы сурфактантов, допированных органическими люминофорами – для использования в лазерных технологиях и молекулярной оптоэлектронике. Кроме молекулярного слоя адсорбата и твердой подложки исследуемая система включает в себя находящуюся в равновесии с гетероструктурой активную газовую фазу и систему селективного энергообмена посредством лазерного излучения.

Конкретная фундаментальная задача заключается в разработке методов лазерной активации различных режимов безызлучательного переноса энергии электронного возбуждения в поверхностном слое: (1) по цепи макромолекулы (с дифференциацией каналов дистанционного и экситонного транспорта между центрами локализации энергии) или в монослое сурфактанта, (2) посредством участия в процессе поверхностных экситонов и фононов подложки, (3) посредством участия в процессе диффузионно-активного агента в виде малых молекул газовой фазы. В задачу входит установление факторов, определяющих конкуренцию этих каналов и направленное изменение их эффективности; определение причин замедления скорости переноса энергии и ее промежуточной локализации на структурных и динамических дефектах; последовательный учет нелинейных процессов экситон- экситонной аннигиляции и кросс-аннигиляции возбуждений донорных центров и подвижных молекул газовой фазы; определение параметров релаксации энергии при участии высоковозбужденных энергетических уровней матрицы (подложки) и/или монослоя адсорбата. Данная задача связана с темой работ «Кинетика бимолекулярных фотореакций на поверхности раздела фаз, в монослоях и пленках, наноструктурах и фрактальных системах» (Рег. № 01.2001.15700 Минобразования и науки РФ), выполняемых по плану научных исследований Оренбургского государственного университета.

Результаты исследований 2005-2006 г.г. опубликованы в монографии [1] и следующих статьях:

1. *Кучеренко М.Г., Степанов В.Н.* Экситонные процессы в полимерных цепях. 2005. Оренбург: ОГУ. -160 с.
2. *Левшин Л.В., Салецкий А.М., Кучеренко М.Г., Палем А.А.* Деполяризация люминесценции упорядоченных молекулярных агрегатов // Вестник ОГУ. 2005. №1. С. 134-144.
3. *Кучеренко М.Г., Чмерева Т.М., Гуньков В.В.* Влияние индуцированной фононами десорбции молекул кислорода с поверхности твердого тела на кинетику люминесценции адсорбатов // Оптика и спектр. 2005. –Т. 99. -№5. С. 804-809, 2006. -Т. 100. -№1. С. 82-87.
4. *Кучеренко М.Г.* Перенос энергии электронного возбуждения между фрагментами полимерной цепи в пределе быстрых конформационных переходов // Вестник ОГУ. 2005. -№5. – С. 90-97.

5. Кучеренко М.Г., Жолудь А.А., Игнатъев А.А. Учет конформационной подвижности макромолекул при анализе сигналов люминесцентных зондов // Биофизика. 2006. – Т. 51. -№1. –С. 44-56.
6. Кучеренко М.Г., Человечков В.В., Жолудь А.А., Степанов В.Н. Кинетика бимолекулярных фотореакций в разбавленных полимерных растворах // Вестник ОГУ. 2006. -№1. -С. 53-60.
7. Кучеренко М.Г., Человечков В.В., Жолудь А.А., Степанов В.Н. Люминесцентный мониторинг кинетики бимолекулярных фотореакций в разбавленных полимерных растворах. Матер. Всеросс. научно-практ. конфер. «Вызовы XXI века и образование». Секция 9. Вопросы фундаментальной и прикладной физики. Оренбург: ОГУ. 2006. –С. 19-26.
8. Кучеренко М.Г., Чмерева Т.М., Гуньков В.В., Игнатъев А.А. Зеркально-симметричная схема приповерхностных реакций: подвижный молекулярный агент и экситон – как его «изображение». Матер. Всеросс. научно-практ. конфер. «Вызовы XXI века и образование». Секция 9. Вопросы фундаментальной и прикладной физики. Оренбург: ОГУ. 2006. – С. 27-34.
9. Кучеренко М.Г., Человечков В.В., Русинов А.П. Лазерная термическая интенсификация молекулярных реакций в микропорах. Секция 9. Вопросы фундаментальной и прикладной физики. Оренбург: ОГУ. 2006. –С. 35-40.
10. 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. Секция 9. Вопросы фундаментальной и прикладной физики. Оренбург: ОГУ. 2006. –С. 41-48.
11. Русинов А.П., Жолудь А.А., Кучеренко М.Г. Кинетика сенсibilизированной фотохимической записи фазовых решеток в кислородопроницаемых полимерах. Секция 9. Вопросы фундаментальной и прикладной физики. Оренбург: ОГУ. 2006. –С. 74-80.
12. Кучеренко М.Г., Гуньков В.В., Чмерева Т.М. Модель переноса энергии электронного возбуждения с участием молекулярного кислорода на поверхности твердого сорбента // Хим. физика. 2006. –Т. 25. - №8. –С. 95-102.
13. Kucherenko M. G., Rusinov A. P. Signal Dynamics of the Photothermal Response in Three-Level Media // Laser Physics. 2006. –V. 16, -No. 9. –P. 1–6.
14. Русинов А.П., Кучеренко М.Г. Кинетика фотохимической записи стационарных решеток в кислородопроницаемых полимерах с триплетной сенсibilизацией // Известия РАН. Серия физическая. 2006. –Т. 70. -№ 9. -С. 1262–1266.
15. Кучеренко М.Г., Игнатъев А.А. Кинетика диффузионно-зависимой аннигиляции квазичастиц на фракталах в условиях их коррелированного начального распределения // Электронный журнал «Исследовано в России». 138, 1289-1298, 2006.
<http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2006/138.pdf>

Помазкин В.А., Цветкова Е.В. КВАЗИМОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ МАГНИТОУПРУГОГО ПАРАМЕТРА Fe-Ni ПЛЕНОК

Оренбургский государственный университет

К магнитоупругим эффектам следует относить те изменения магнитных параметров ферромагнетиков, которые наблюдаются при их деформации в области упругости. Любые колебания температуры ферромагнетика сопровождаются соответствующими изменениями величины самопроизвольной намагниченности и, как следствие этого, изменением их внутренней энергии. Повышение температуры облегчает разрушение блокированных состояний отдельных областей ферромагнетика, т.е. способствует намагничиванию образцов в более низких полях. Изменение с температурой магнитоупругого параметра диктуется температурной зависимостью модуля упругости, магнитострикции насыщения и спонтанной намагниченности.

Для магнитоупругого параметра существует строгая формула, связывающая его с этими кардинальными магнитными параметрами [1]

$$\eta = \frac{3\lambda_s E}{M_s}, \quad (1)$$

где M_s и λ_s – константа спонтанной намагниченности и магнитострикции насыщения соответственно; E – модуль Юнга.

Как видно, магнитоупругий параметр является функцией трех кардинальных ферромагнитных констант. Если нам удастся найти законы изменения этих величин с температурой, то, используя принцип квазимолекулярно-кинетического подхода [2], мы сможем найти выражение, описывающее температурную зависимость магнитоупругого параметра. Температура в формуле (1) будет играть роль неспецифического физического фактора.

Мицек [3] показал, что температурная зависимость спонтанной намагниченности в области температур 0°C – точка Кюри, должна подчиняться блоховскому закону «трех вторых»

$$M_s = M_0 (1 - \alpha T^{3/2}) \quad (2)$$

где M_s и M_0 – значение спонтанной намагниченности при температуре исследования и при 0°C соответственно, α – коэффициент, учитывающий обменное взаимодействие атомов.

К.П. Белов [4] экспериментально установил, что в этом же температурном интервале магнитострикция изменяется пропорционально квадрату намагниченности:

$$\lambda_s = aM^2. \quad (3)$$

Анализируя экспериментальные данные зависимости модуля Юнга от температуры [4], можно заметить, что в интервале 0-250⁰С у всех железоникелевых сплавов (исключая инварную область) наблюдается обратная зависимость Е от температуры, т.е. с известной долей приближения для большинства ферромагнетиков будет справедлив такой эмпирический закон изменения Е с температурой:

$$E = E_0 - vT, \quad (4)$$

где E_0 и E – значение модуля Юнга при 0⁰С и температуре исследования.

Для инварной области сплавов (от 30% до 45% никеля остальное железо) модуль Юнга в этом же температурном интервале изменяется прямо пропорционально температуре:

$$E = v_i T. \quad (5)$$

Коэффициенты пропорциональности v_i в уравнениях (5) определяются химическим составом образцов. Учитывая, что влияние плоскостных термических напряжений на намагниченность насыщения не существенны (они не будут в данном случае играть роль неспецифического физического фактора), можно, используя формулы (1-5), получить закон изменения магнитоупругого параметра с температурой для железоникелевых пленок (исключая инварную область сплавов) в диапазоне температур 0-250⁰С, в следующем виде

$$\eta = \eta_0 + C_1 T^{5/2} - C_2 T^{3/2} - C_3 T, \quad (6)$$

где η и η_0 – значение магнитоупругого параметра при температуре исследования и 0⁰С соответственно, C_i – коэффициенты, являющиеся функцией химического состава вещества, T – температура по шкале Цельсия.

Используя те же формулы (2-3) и формулу (5), получаем аналогичную зависимость для инваров:

$$\eta = \eta_0 + C_1 T^{5/2} + C_5 T, \quad (7)$$

где члены, входящие в формулу, имеют тот же смысл, что и в выражении (4-6).

На рисунках 1 и 2 приведены теоретические кривые, построенные по формулам (6) и (7) соответственно, для разных значений C_i . Чтобы проверить справедливость наших теоретических изысканий, была исследована температурная зависимость магнитоупругого параметра пленок. Экспериментальные данные были обработаны методом наименьших квадратов с использованием выражений (6) и (7) в качестве уравнений регрессии.

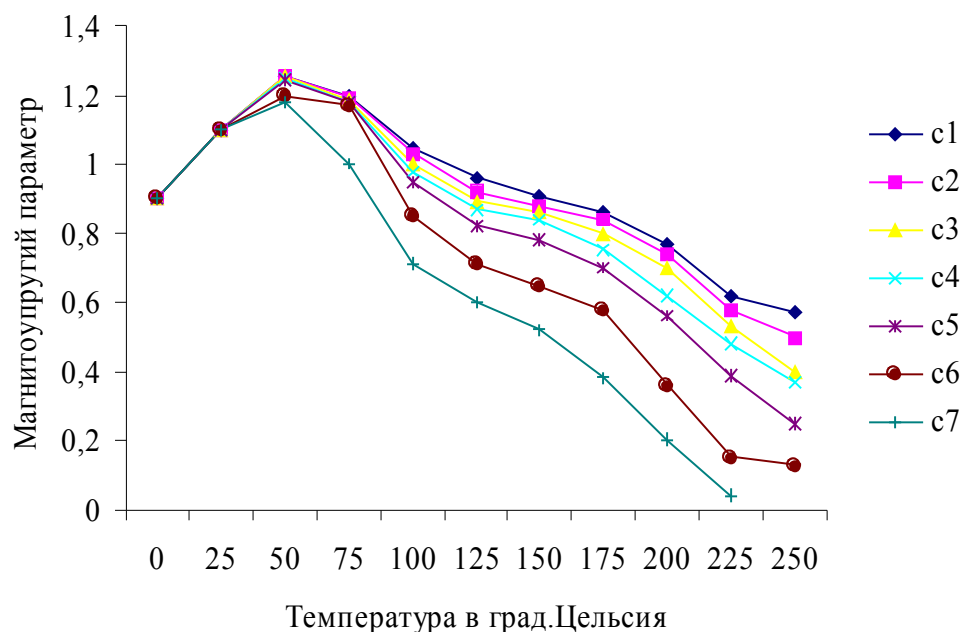


Рисунок 1. Теоретические кривые температурной зависимости магнитоупругого параметра, рассчитанные по формуле (6) для разных значений коэффициентов C_i .

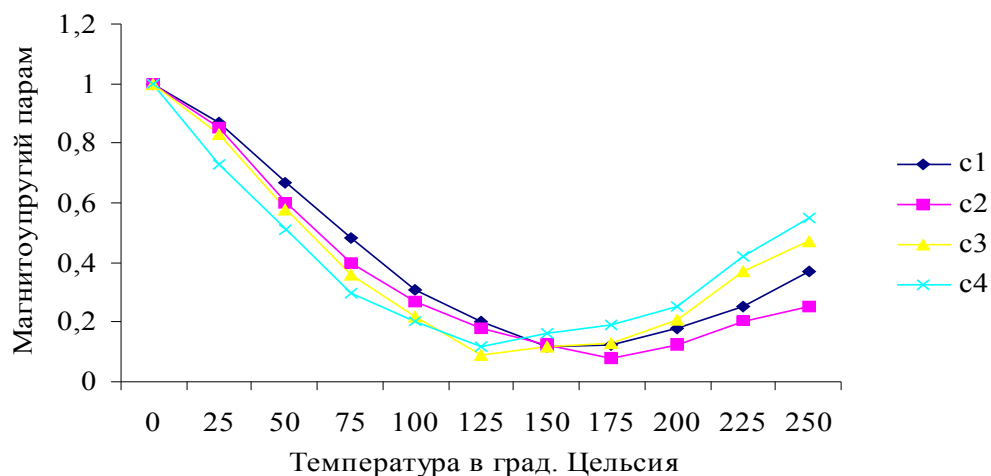


Рисунок 2. Теоретические кривые температурной зависимости магнитоупругого параметра **инваров**, рассчитанные по формуле (7) для разных значений коэффициентов C_i .

Значение коэффициентов C_i находили из принципа минимизации квадратов отклонений найденных экспериментально точек от кривой регрессии.

$$\sum (\eta_{0i} + C_1 T^{5/2} + C_2 T^{3/2} + C_3 T - \eta_i)^2 = \min. \quad (8)$$

Дифференцируя (8) по C_i , получаем систему уравнений:

$$\begin{aligned}
C_1 \sum_i T_i^5 - C_2 \sum_i T_i^4 - C_3 \sum_i T_i^{7/2} + \eta_0 \sum_i T_i^{5/2} - \sum_i \eta_i T_i^{5/2} &= 0 \\
C_2 \sum_i T_i^3 - C_1 \sum_i T_i^4 - C_3 \sum_i T_i^{5/2} - \eta_0 \sum_i T_i^{3/2} + \sum_i \eta_i T_i^{3/2} &= 0 \quad (9) \\
C_3 \sum_i T_i^2 - C_1 \sum_i T_i^{7/2} + C_2 \sum_i T_i^{5/2} - \eta_0 \sum_i T_i + \sum_i \eta_i T_i &= 0
\end{aligned}$$

Система уравнений решалась относительно C_i на ПК «CELERON». Подставляя найденные значения C_i в уравнение (6), строили теоретические кривые.

Для того, чтобы оценить изменение тензочувствительности магнитных параметров с температурой нами была проведена следующая серия экспериментов. На стеклянные подложки методом вакуумного напыления были нанесены пленки следующих составов: 10% Fe – 90% Ni, 18% Fe – 82% Ni, 25% Fe – 75% Ni, 42% Fe – 58% Ni. При любых экспериментальных деформациях образцов температура оставалась стабильной с точностью $\pm 5^\circ\text{C}$ в диапазоне $0-260^\circ\text{C}$, и с точностью $\pm 10^\circ\text{C}$ в диапазоне от 0 до 120°C . Отжиг проводили при температуре 300°C в течение одного часа в ориентирующем поле 100Э., приложенном вдоль оси легкого намагничивания. Во всех случаях пленка деформировалась таким образом, чтобы возникающие при деформациях напряжения не изменяли положение, имеющееся в пленках ОЛН. Чтобы избежать ошибок в измерениях, связанных с термоупругим отжигом, каждый раз после снятия нагрузки с нагретой пленки проверял положение легкой оси и измерялись H_k и H_c [5].

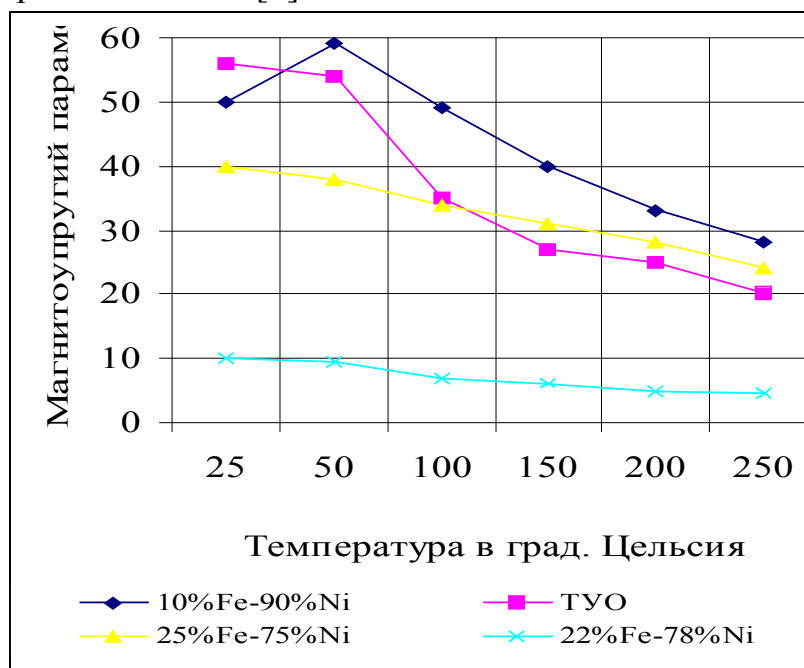


Рисунок 3. Температурная зависимость магнитоупругого параметра пленок составов 25%Fe-75%Ni, 10%Fe-90%Ni и 22%Fe-78%Ni (исходный состав) толщиной около 600 Å. Теоретические кривые построены по формуле (6). Точки – наши экспериментальные данные [6]

Температурная зависимость магнитоупругого параметра (абсолютное значение) пленок, обладающих отрицательной, положительной и близкой к нулевой магнитострикцией показана на рисунке 3.. Видно, что нагревание приводит к заметному уменьшению η , причем эти уменьшения пропорциональны абсолютному значению магнитострикции насыщения пленки. Поскольку M_s в этом диапазоне температур изменяется незначительно, можно утверждать, что основной вклад в ход кривой $\eta(T)$ вносят изменения E и λ_s . Кривая η ТУО показывает, как может исказить результаты измерений термоупругий отжиг, если пленка нагревается при исследовании до температур, близких к температуре конденсации пленки T_s , которая у этих пленок была около 100°C . Чтобы избежать связанных с этим явлением ошибок, следует пленки перед измерением отжигать при температурах на $50\text{-}80^\circ\text{C}$ выше предполагаемой температуры исследования. Теоретические кривые (Т) на рисунке 3 построены с использованием уравнения (6) в качестве уравнения регрессии. Видно хорошее совпадение экспериментальных и теоретических данных, расхождение между которыми находятся в пределах экспериментальных ошибок.

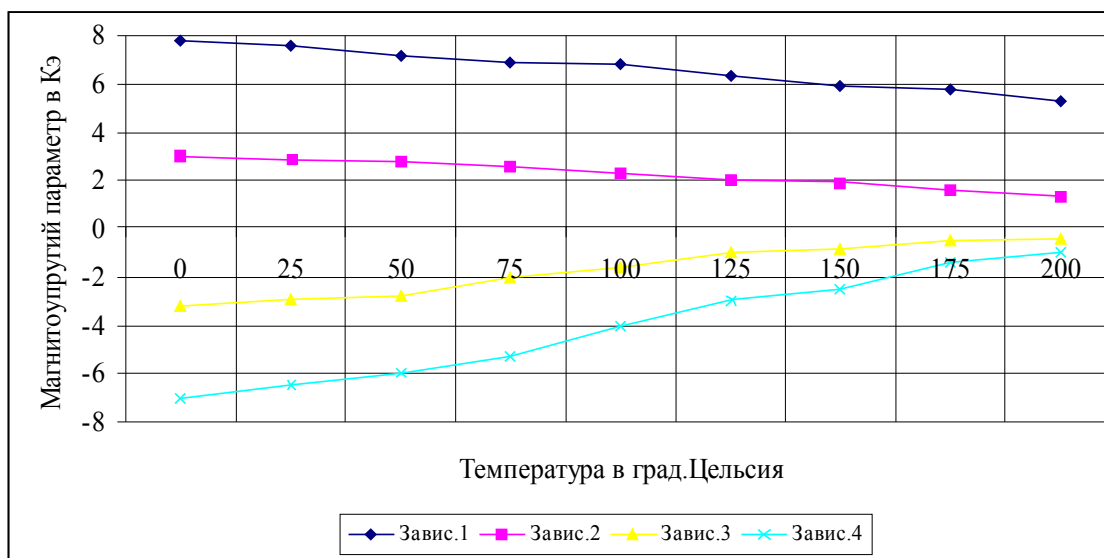


Рисунок 4. Температурная зависимость магнитоупругого параметра пленок с близкой к 0 магнитострикцией. Обработанные по нашей формуле (6) экспериментальные данные американских исследователей [7].

На рисунке 4 приведены результаты обработки экспериментальных данных авторов работы [7]. Кривые построены по формуле (6). Точки – экспериментальные данные, взятые из этой работы. Видно, что экспериментальные данные хорошо ложатся на теоретические кривые, построенные по предлагаемой нами формуле. Это позволяет утверждать, что выражение (6) хорошо описывает закон температурного изменения магнитоупругого параметра железо – никелевых пленок, содержащих более 75% никеля, в температурном интервале $0\text{-}250^\circ\text{C}$.

Видно, что в низкотемпературной области магнитоупругий параметр пленок возрастает, причем рост его наибольший у тех пленок, которые имеют

большие по абсолютной величине значения магнитострикции. Описать изменение η в отрицательном интервале температур с помощью выражения (6) не удастся. Очевидно, это связано с тем, что допущения, сделанные нами при выводе этой формулы, не приемлемы для низкотемпературной области [6].

На рисунке 2 видно, что изменение с температурой магнитоупругого параметра пленок состава 42% Ni – 58% Fe закономерности (6) не подчиняется. Очевидно, это связано с тем, что изменения M_s и λ_s с температурой у инваров не подчиняются законам (2) и (3). Полученные в результате статистической обработки экспериментальных данных по принципу наименьших квадратов уравнение регрессии для этого случая имеет следующий вид:

$$\eta = C_1 T^{-1} - C_2 T^{1/2} + C_3 T . \quad (10)$$

Однако, нетрудно видеть, что уравнение (10) противоречит физическому смыслу зависимости η (Т), т.к. требует, чтобы магнитоупругий параметр при абсолютном нуле был равен нулю.

ЛИТЕРАТУРА:

- 1) Growth T.S., Journ. Appl. Phys., **34**, 580, 1963.
- 2) Pomazkin V.A., The guazimolecular-kinetic and guazihtermodinamic conception of uncpicific physical influence, Abstr. Sci.Rep. 3-d Intern. Conf., St-Petersb.-Ontga-Ladoga, 1968, page 68.
- 3) Мицек А.И., Изв. АН СССР, сер.физ., 31, 3, 418, 1957.
- 4) Белов К.П., Упругие, тепловые и электрические явления в ферромагнетиках, М., 1957.
- 5) Помазкин В.А., Неспецифические воздействия физических факторов на объекты биотехносферы, монография// ИПК ОГУ, Оренбург, 2001, 376с.
- 6) Buoravihin V.A., Pomazkin V.A. et all, Temperature dependence of magnetoelastik behavior of ferromagnetic films, Abstr. Intern. Colloq. of Phys. Magn. Films, USSR, Ircutck, 1968.
- 7) Tolman C.H., Oberg P.E., Rubins S.M., Journ. Appl. Phys., **32**, 83, 1961.

Рамазанов К.С. ТЕМНАЯ МАТЕРИЯ

Оренбургский государственный университет Бугурусланский филиал, г. Бугуруслан

Чем дальше ученые продвигаются в изучении Вселенной, тем больше загадок. Обычная материя составляет лишь 5% окружающего мира. Всё остальное – загадочные темная энергия и темная материя.

О темной энергии известно только – то, что она приводит к антигравитации. А темная материя зафиксирована с помощью приборов, но что это такое, мы сказать не можем.

Эту проблему решает фундаментальная физика.

Американские астрономы утверждают, что им впервые удалось обнаружить на космических фотографиях четкий след экзотической формы вещества, которую принято называть темной материей. Если эта заявка выдержит последующие проверки, она, вне всякого сомнения, будет признана одним из крупнейших открытий нашего времени в области астрофизики и космологии.

Термин "темная материя" куда моложе стоящего за ним явления, которое известно уже почти три четверти века. В 1932 году голландский астроном Ян Оорт заметил, что звезды нашей Галактики движутся слишком быстро для того, чтобы взаимное притяжение не позволило им разлететься. Он предположил, что в Галактике есть еще какое-то вещество, которое своим тяготением удерживает звезды на их орбитах в галактическом диске. Отсюда следовало, что общая масса галактической материи намного превосходит суммарную массу звезд. Вскоре к таким же выводам независимо друг от друга пришли американские астрономы Фриц Цвикки и Синклер Смит, которые измеряли скорости галактик, входящих в скопления Волосы Вероники и Девы. Рентгеновская обсерватория "Чандра" дождалась своего "звездного" часа. Чтобы объяснить этот парадокс, Цвикки предположил, что в состав галактик входит много несветящегося вещества, преимущественно пыли и газа. Его не удастся обнаружить телескопическими наблюдениями, однако оно многократно увеличивает массу скопления. Так возникла гипотеза скрытой галактической массы неизвестной природы, источник которой позднее стали называть темной материей.

Долгое время проблема скрытой массы оставалась на периферии интересов астрономов. Многие специалисты полагали, что она решится сама собой, когда телескопы новых поколений дадут больше информации о строении галактик. Однако на рубеже шестидесятых и семидесятых годов прошлого века ситуация изменилась.

Американские астрономы Вера Рубин и Кент Форд обнаружили, что скорости звезд, входящих в спиральные галактики, гораздо медленнее

убывают по мере увеличения расстояния до галактического центра, нежели положено по законам механики.

Эту аберрацию в принципе можно было объяснить несоблюдением ньютоновского закона тяготения, но у столь радикальной интерпретации нашлось немного сторонников. Восторжествовало мнение, что наблюдаемые с Земли звезды окружены невидимой материей, на долю которой приходится не менее 90% общей массы галактик. Тогда же принстонские астрофизики Джереми Острикер и Джеймс Пиблс математически доказали, что без этой материи многие галактики просто оказались бы нестабильны. Тут уж стало очевидным, что проблема скрытой массы требует самого тщательного внимания.

Так работает гравитационное линзирование.

За последние три десятилетия о скрытой массе узнали довольно много. Сейчас уже ясно, что ее не могут обеспечить одни лишь рассеянные в космическом пространстве частицы газа и пыли - их для этого попросту слишком мало. Какая-то часть скрытой массы может приходиться на слабо светящиеся или уже мертвые звезды, планеты, неактивные нейтронные звезды и даже черные дыры, однако и она относительно невелика. Большинство физиков полагает, что главным источником скрытой массы являются гипотетические массивные элементарные частицы, рожденные на самой ранней стадии образования Вселенной. Такие частицы не участвуют в сильных ядерных взаимодействиях и не несут электрических зарядов, а потому не излучают и не рассеивают фотонов. Друг с другом и с "обычными" частицами (протонами, нейтронами и электронами) они взаимодействуют только посредством слабых ядерных сил и гравитации. Их-то обычно и называют темной материей. Анализ спектров реликтового микроволнового излучения позволил предположить, что на ее долю приходится четвертая часть полной массы Вселенной - примерно вшестеро больше, чем на долю "обычной" материи. Остающиеся 70% массы Мироздания обеспечивает энергия вакуума (ее еще называют темной энергией).

Частицы темной материи в принципе можно зарегистрировать с помощью земных детекторов, но пока это никому не удавалось. Следовательно, остается космос.

Тяготение темной материи искривляет световые лучи, идущие от далеких звезд к Земле, и при этом на время меняет их видимый блеск. Этот эффект гравитационного линзирования уже можно обнаружить. Идею такого поиска темной материи двадцать лет назад выдвинул профессор Принстонского университета Богдан Пачинский (Bohdan Paczynski), и с тех пор она осуществляется весьма активно. В ходе реализации этой исследовательской программы удалось добыть немало косвенных данных о существовании исполинских облаков темной материи, однако прямые доказательства ее реальности все же отсутствовали. И вот теперь, судя по всему, такое доказательство появилось (насколько надежное - это уже другой вопрос). Оно получено объединенными усилиями ученых, использующих аппаратуру американской орбитальной рентгеновской обсерватории "Чандра",

космического телескопа имени Хаббла, Очень Большого Телескопа Южной Европейской обсерватории и находящегося на том же высокогорном плато в Чили телескопа "Магеллан". Они проанализировали снимки космического объекта 1E0657-556 из южного созвездия Киля. Он представляет из себя пару близлежащих галактических скоплений, которые около ста миллионов лет назад испытали лобовое столкновение на встречной скорости 4700 км/с, а теперь мало-помалу удаляются друг от друга.

Астрономы и астрофизики сильно заинтересовались объектом 1E0657-556 вскоре после его открытия в 1995 году. Вот уже шесть лет как за ним следит "Чандра", что само по себе показательно. Межзвездное пространство внутри этих скоплений заполнено газом, нагретым до десятков миллионов градусов, который очень сильно светит в рентгеновском диапазоне. Когда меньший по размеру кластер вошел в кластер-гигант, впереди меньшего возникла ударная волна, которая и разогрела этот газ до столь высоких температур. Ее фронт имеет характерную форму натянутого лука или пулевого наконечника, отсюда и неформальное название - скопление Пули (Bullet Cluster).

Этот избыток раскаленного газа и позволил выявить "подпись" темной материи.

Звезды столкновения практически не почувствовали - по причине большой удаленности друг от друга. Облака темной материи тоже прошли друг через друга без задержки - из-за очень слабого взаимодействия своих частиц. А вот газовые начинки обоих кластеров затормозились друг о друга и отстали от прочего вещества. В результате темная материя оказалась "в голове" каждого кластера, а основная масса газа - "в хвосте". Вот эту асимметрию и позволили выявить оценки распределения масс скоплений, сделанные разными методами (в том числе гравитационным линзированием). Однако это только начало. Еще не все специалисты согласны с интерпретацией, предложенной астрономом из Аризонского университета Дугом Клоувом и его коллегами. Кроме того, новые данные все еще не содержат никакой информации о природе темной материи. Точнее, подтверждена основная гипотеза, что эта материя состоит из слабо взаимодействующих частиц, но вот каких именно, пока неясно. Так что работы - непочатый край.

В настоящее время в новой научно технической революции физика играет ключевую роль. Основой физики являются экспериментальные и теоретические исследования явления Природы. Теоретический анализ экспериментов, проверенный и подтвержденный независимыми исследователями, становится основой объективного и истинного знания.

На основе успехов фундаментальных исследований идет непрерывный поиск практических приложений новых открытий. Хочется думать, что XXI век принесет открытие сущности темной материи и мы станем свидетелями сотворения нового мира, доступного ранее лишь писателям – фантастам.

Романов В.А. ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СОВРЕМЕННОГО ОБРАЗОВАНИЯ

**Оренбургский государственный университет
Бугурусланский филиал, г. Бугуруслан**

Актуальность рассматриваемой проблемы определяется главным требованием профессионального образования – овладение профессиональными знаниями и умениями в выбранной профессии.

Практико-ориентированные технологии в профессиональной школе имеют определенную специфику в связи с разнообразием профилей подготовки специалистов, разнообразия уровней подготовки обучаемых, разнообразия мест приложения полученных знаний, размытости целей обучения у студентов.

Современная система подготовки к профессиональной деятельности в профессиональной школе имеет ряд недостатков. Сюда относятся оторванность высшей школы от производства, отсутствие собственной производственной базы в высшей школе, малый процент прошедших производственную закалку преподавателей (нередко на кафедрах полное отсутствие преподавателей с производственным стажем), отсутствие заинтересованности работодателей в подготовке компетентных специалистов, немотивированный выбор профессиональной ориентации студентами, большой разброс в уровне подготовки студентов при низком уровне подготовки у большинства из них.

Каждый из перечисленных недостатков имеет большое самостоятельное значение и способен полностью дискредитировать и саму систему, и выпускников высших учебных заведений. Во многом именно этим объясняется наше многолетнее отставание в наиболее «продвинутых» областях техники, таких, как нано технологии, микроэлектроника и других. Пути преодоления их относительно ясны, дело стоит только из-за отсутствия твердой воли у компетентных лиц, огромной инерции сложившейся системы и общей технической отсталости и крайней изношенности нашего технологического оборудования, унаследованного от социалистической индустрии прошлого века, на которое в течение последних полувека советской власти в гражданской части промышленности государство обращало очень мало внимания, считая важным единственно военно-промышленный комплекс.

Методы профессиональной ориентации, используемые в настоящее время в высшей школе, такие, как производственная практика, курсовые и самостоятельные работы, консультации, некоторые виды практических и лабораторных работ, выполнение дипломной работы или подготовка к Государственному экзамену в малой степени отвечают поставленной цели.

Производственная практика во многих случаях становится чистой профанацией, поскольку производство ни в какой мере не заинтересовано в

использовании, а тем более, в обучении студентов-практикантов. Кроме того отсутствует какая бы то ни было правовая база для принуждения производителей к приему практикантов и выделению для них руководителей.

Курсовые и самостоятельные работы выполняются по надуманным темам, зачастую по шаблону. Результативность их нулевая.

Наиболее значимым моментом в процессе обучения в высшей школе является защита дипломного проекта. Но и в этом важнейшем случае имеем почти то же самое, что и в курсовом проектировании. Прежде всего здесь большое значение имеет квалифицированное руководство, что при сложившейся практике оторванности высшей школы от производства составляет большую проблему. В подавляющем большинстве случаев руководство дипломным проектированием поставлено на поток. Руководителями являются те же преподаватели учебных заведений, темы либо повторяются из года в год, либо надуманы. Дипломные проекты с выходом на предприятие: по заказу или с перспективой реализации, уникальны.

Особую тему представляет собой слабость производственной базы высшей школы. Она оказалась столь же отсталой, как и общий технологический уровень гражданского производства советского периода. Хотя общим местом считается, что научная и производственная база ВПК советского периода была передовой и нам только следует произвести внедрение ее достижений в национальное производство, на деле мы видим засилие в производстве иностранных моделей и технологий во всех перспективных видах товаров, особенно высокотехнологического вида. Всеобщее поветрие перестроечного и более позднего периода, связанное с организацией совместных предприятий различных профилей не прибавили нашей промышленности, а уж тем более образованию, ничего. Фирмы-инвесторы поставляют оборудование под уже разработанные технологии и им совершенно нет резона ставить научные исследования с целью их дальнейшего совершенствования, а тем более развивать на местах производства такого оборудования.

Необходимы реформы высшей школы с учетом адаптации студентов к профессиональной деятельности, основные концептуальные направления которых представляются следующими:

- 1) относительно продолжительная практическая работа обучающихся на младших должностях в выбранной области деятельности до и в период обучения в высшей школе;
- 2) подготовка специалистов по договорам с предприятиями-работодателями на базу участия предприятия в программе обучения и несении части расходов по обучению;
- 3) защита дипломных проектов по темам, заданным предприятиями;
- 4) защита дипломных и курсовых проектов на выездных комиссиях на предприятиях;

5) ускоренная подготовка специалистов-практиков по сокращенному курсу из рекомендованных или командированных предприятиями недипломированных специалистов предприятия.

Так уж устроен мир, что за все надо платить. Такой практико-ориентированный подход к обучению сопряжен и с рядом негативных явлений, которые суть: отрыв на длительное время от аудиторного учебного процесса, отсутствие повседневного контроля за процессом обучения, отсутствие жесткой программы вида обучения, размытость форм отчетности и отсутствие жестких критериев оценки.

Эти недостатки частично могут быть компенсированы различными организационными мерами по усилению контроля, определению обязательных форм отчетности, дополнительного методического обеспечения соответствующих форм обучения. И в любом случае «понюхавший порошу предприятия» специалист быстрее адаптируется в его среде, чем «вышколенный» теоретик.

Состояние дел по практико-ориентированным технологиям современного обучения в Бугурусланском филиале ОГУ можно считать удовлетворительным. Здесь имеет место относительная узость профориентации: все специальности филиала являются специальностями экономического профиля; большой процент студентов заочной формы обучения, по идее являющихся производственниками; большой процент преподавателей-производственников, работающих в филиале, имеющих богатый опыт работы в управленческих структурах города и на производстве.

В заключение отметим некоторые проблемы негативного свойства, органически присущие современному состоянию обучения в высшей школе. К ним можно отнести массовый характер «производства» специалистов с высшим образованием; в большом числе случаев общий уровень некомпетентности, создающий конфликтную конкурентную среду; штучное на уровне случайного производство специалистов экстра класса, определяющих характер и пути развития во всех областях деятельности.

Рябинина О. Н. СОДЕРЖАТЕЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ПРЕПОДАВАНИЯ ФИЗИКИ

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург

В связи со стремительным развитием естественных наук, среди которых физике принадлежит одно из ведущих мест, неизбежен и закономерен процесс совершенствования физического образования.

Для этого, прежде всего, следует дать современную трактовку традиционному учебному материалу с изложением ряда фундаментальных положений новой физики, при этом, чтобы научные теории, общие понятия и законы физики не только доказательно излагались, но и возможно шире применялись для объяснения природы различных явлений и их закономерностей, создавая тем самым возможность вести изучение курса на более высоком уровне обобщений. Все это потребует особого внимания к развитию мышления и познавательных способностей студентов.

Вместе с тем, значительная часть нового материала курса физики связана с дальнейшим углублением в сущность различных физических явлений, в том числе явлений микромира, т. е. с познанием также реальностей, которые доступны нашему ощущению только косвенным образом, через посредство различных индикаторов и приборов.

При изучении таких вопросов в значительной мере теряет свое значение „обычная” наглядность в обучении и становятся недостижимыми многие схемы логического мышления, выработанные при изучении явлений макромира. Доказательное изложение этих вопросов может быть осуществлено на основе единства индукции и дедукции, при хорошем понимании роли гипотезы и эксперимента в научном познании.

Это и требует совершенствования методов обучения с целью более целенаправленного развития некоторых качественных особенностей мышления, связанных с логикой познавательного процесса в физике – науке.

Повышение научности преподавания физики – это прежде всего понимание основных руководящих идей науки, умение использовать их для объяснения физических явлений и процессов, а не сообщение огромного количества фактов, число которых может расти беспредельно, что не развивает специфическое физическое мышление, а приводит к верхоглядству, категоричности суждения по проблемным вопросам науки, убежденности в том, что студенты все знают и понимают.

А физика – это прорыв в будущее, непрерывный поиск, масса неудач и важнейших открытий, море неизвестного и неразгаданного.

Основной метод изучения физики – был и остается – экспериментальный. Физический эксперимент – это не только средство наглядности и облегчения восприятия физических закономерностей, он способствует формированию материалистического мировоззрения, убеждает в

объективном существовании причинно – следственных связей в природе и имеет большое воспитательное значение.

Однако физическое оборудование кабинетов и лабораторий порой мешает приближению курса физики к уровню современной науки.

Так электрофорная машина XIX века как источник напряжения для постановки эксперимента себя не оправдывает.

Гораздо лучше, проще и эффективнее конструкция генератора Ван – де – Граафа – действующая модель современной машины, которая используется в ядерных лабораториях.

Традиционные ошибочные представления о физике как о законченной логической схеме, лишенной внутренних противоречий, трудностей и не имеющей нерешенных проблем, упрощают и скрывают сложность и внутреннюю противоречивость важных физических законов и явлений, приводят к неумению видеть новое, современное содержание в вопросах курса физики.

Очевидно, что улучшить качество физического образования нельзя только в результате изменения содержания обучения, а необходимо одновременное совершенствование методов передачи знаний и обучения.

В этот арсенал входят и словесные методы (лекция, объяснение, рассказ, беседа), и наглядные (демонстрации схем, опытов, кинофильмов), и практические (решение задач, лабораторные работы, практикумы), и другие. Для этого необходимо развивать и внедрять в практику преподавания информационные и компьютерные технологии обучения, направленные на интенсификацию учебного процесса, мотивацию и индивидуализацию обучения, развитие творческого подхода и системности мышления.

В основу преподавания физики должен быть положен политехнический принцип обучения, т. е. рассматривать не только физические проблемы, но и их „ выход ” в технику, практику с целью обеспечения понимания научно – технических основ современного производства.

Одновременно надо усилить внимание к изучению физических теорий, так как, по образному выражению Л. Больцмана, „ Нет ничего практичнее хорошей теории ”.

Новейшие достижения физической науки приведут к коренным изменениям в ряде отраслей промышленности, к возникновению новых технологических процессов и целых отраслей производства.

Наука и высокие технологии открыли широкие ворота в наномир; экономики развитых стран, освоившие нанотехнологии, делают крупный шаг вперед, учитывая, что через 10 – 12 лет рынок нанотехнологий сравняется с рынком информационных технологий, а потом и обгонит его.

В настоящее время возрастает роль математики в естественных, технических и гуманитарных науках.

Физика тесно связана с математикой.

Если физическая сторона изучаемого явления разъяснена, модель его осознана, то количественная оценка помогает описать эту модель, более глубоко изучить

явление и получить новые следствия, правильность которых проверяется опытами.

Главное – найти верное и педагогически целесообразное соотношение качественного и количественного анализа явления в каждом отдельном случае.

Естественно, что при изложении физики следует уделять внимание и вопросам истории развития данной науки, поскольку знание истории любой науки позволяет в концентрированном виде получить представление о формировании научных понятий, о возникновении научных идей, о создании методов исследования.

Рябинина.О.Н. КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ БРОНЗЫ, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОГО СПЕКАНИЯ

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург

Разработка эффективных методов получения антифрикционных износостойких материалов, в частности для опор скольжения шарошечных бурильных долот, является актуальной проблемой. Композиционный антифрикционный материал, разработанный в Институте проблем материаловедения АН Украины для этих целей, обладает высокой работоспособностью, однако технология его изготовления относительно сложна и трудоемка.

Мы исследовали возможность использования электроразрядного спекания (ЭРС) для изготовления материалов этого класса, поскольку данный метод не требует применения специальных газовых сред и дорогостоящих флюсов.

Спекание производили при помощи пульсирующего электрического тока с частотой переменной составляющей 2—6 тыс. Гц, который пропускали через предварительно спрессованное и уплотненное изделие под давлением 3—8 Мн/м², на установке, изготовленной в ИПМ АН Украины. Спекали в течение короткого промежутка времени за счет интенсивного выделения большого количества тепла при ионных столкновениях в межчастичной среде и на поверхности частиц. Величина прикладываемого при этом давления определялась природой спекаемого объекта. Для изготовления исследуемых материалов использовали порошок бронзы БрО10 с дисперсностью частиц 160 мкм, гранулы твердых сплавов — сормаита и стеллита, плакированных бронзой, в виде трех фракций — мелкой, средней и крупной. Содержание гранул твердых сплавов в материале составляло от 40 до 60%.

Для спекания материалов применяли матрицу, изготовленную из асбестоцемента. Пуансонами-электродами служила сталь 3ХВ8Ф, покрытая графитной смазкой. Трибометрические характеристики и износостойкость исследуемых материалов определяли при трении без смазки на машине трения М-22М, скоростях скольжения 0,75—6 м/с и ступенчатом нагружении по 0,1 МПа через промежутки времени, в течение которых стабилизируются температура и сила трения. В качестве контртел использовали ролики диаметром 40 мм, изготовленные из стали Р18 (*HRC* 60—62).

Механические и трибометрические свойства исследуемых материалов сравнивали со свойствами оловянной бронзы БрО10. Результаты исследований свидетельствуют о том, что изготовленные ЭРС материалы бронза — стеллит и бронза — сормайт обладают в 1,5—2 раза более высоким пределом прочности, чем бронза БрО10.

При испытаниях по определению трибометрических свойств преимущество бронзы — стеллита и бронзы — сормаита, изготовленных ЭРС,

наиболее четко проявилось при повышенных скоростях скольжения — выше 4 м/с. Так, при скорости скольжения 6 м/с коэффициент трения и суммарный износ контртела и материала с наполнителями меньше, а несущая способность примерно вдвое больше, чем у бронзы БрО10 (таблица).

Наблюдения за процессом трения и состоянием рабочих поверхностей показали, что существенное снижение износа и коэффициента трения при повышенной скорости скольжения этих материалов связано с образованием на поверхностях трения вторичных структур — окислов — в результате повышения температуры в зоне трения более 250 °С. В этом случае размеры фракций наполнителя и его содержание не оказывают существенного влияния на характеристики трения и изнашивания.

При малых скоростях скольжения — 0,75—2 м/с, в случае отсутствия вторичных структур, суммарный износ материала и контртела снижается с увеличением размера фракций и содержания наполнителя примерно вдвое при некотором увеличении коэффициента трения (таблица). При трении со смазкой несущая способность материала бронза — сормайт при скорости скольжения 6 м/с достигает 65—70 Мн/м² (650—700 кгс/см²), что в 2,5 раза превышает несущую способность бронзы БрО10.

Выводы

Спеченные антифрикционные материалы бронза — стеллит и бронза — сормайт, изготовленные ЭРС, обладают более высокими трибометрическими свойствами и износостойкостью, чем бронза БрО10.

В условиях трения без смазки преимущества материалов бронза — стеллит и бронза — сормайт наиболее четко проявляются при повышенных скоростях скольжения (более 4 м/с).

При трении со смазкой несущая способность материала бронза — сормайт в 2,5 раза превышает несущую способность бронзы БрО10.

Результаты исследования изучаемых материалов

Наименование материала	Содержание Наполнителя %	Размер частиц, мкм	Износ материала, мкм/см при Скорости Скольжения, м/с		Износ контртела, мг/км, при скорости скольжения м/с		Коэффициент Трения при скорости скольжения, м/с		Предельная нагрузка Мн/м ² , при скорости скольжения, м/с.	
			0,75	6	0,75	6	0,75	6	0,75	6
Бронза-сормайт	40	0,3-0,6	290	25	55	10	0,31	0,21	44	10
		0,6-1,25	250	15	45	4	0,3	0,24	40	9
		1,25-3	210	10	37	2	0,28	0,26	46	10
	50	0,3-0,6	230	30	48	6	0,3	0,26	42	7
		0,6-1,25	210	25	48	3	0,35	0,27	40	8
		1,25-3	180	20	39	4	0,3	0,28	44	10
	60	0,3-0,6	190	30	18	1	0,35	0,26	45	9
		0,6-1,25	160	25	23	2	0,36	0,29	46	10
		1,25-3	150	30	32	4	0,37	0,33	46	12
Бронза-стеллит	40	0,3-0,6	323	50	32	4	0,34	0,3	43	10
		0,6-1,25	280	16	45	7	0,37	0,26	42	7
	50	0,3-0,6	280	25	24	1	0,23	0,22	40	6
		0,6-1,25	100	15	29	1	0,31	0,29	45	10
Бронза БрО10	-	-	160	90	27	6	0,35	0,38	35	5

Савченков Э. А., Шашкова Л. В., Шашкова В. К.
СТРУКТУРНАЯ, ХИМИЧЕСКАЯ И МЕХАНИЧЕСКАЯ
МИКРОНЕОДНОРОДНОСТЬ И ОТКЛИК СТАЛИ НА
ВОДОРОДНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург

На основе анализа экспериментальных результатов показано, что активационные объемы микроскола, определяемые по синергетическому закону водородной повреждаемости, являются количественной мерой структурной, химической и механической микронеоднородности стали.

Известно, что структурно-химические факторы и дефекты определяют эксплуатационные свойства материалов. Синергетическая парадигма о самоорганизации диссипативных структур в нелинейных системах стимулировала в последние десятилетия развитие новых направлений в науках о прочности материалов. Это фрактальная механика разрушения, фракталы в материаловедении, физическая мезомеханика структурно-неоднородной среды с дефектами и компьютерное конструирование материалов [1-4]. Рассмотрены ключевые проблемы синергетики неравновесных конденсированных сред [5].

Оригинальные результаты получены при исследовании взаимодействия водорода с металлами, в частности, проблемы водородной хрупкости (ВХ). Установлен синергетический закон водородной повреждаемости, и введена новая структурночувствительная характеристика стали ω - параметр водородной повреждаемости (ПВП). Данный параметр определяет работу микродеформации и разрушения материала в локальной области активации $V_{\text{акт}}$ процесса - работу образования критической субмикротрещины скола [6,7].

$$\omega = \frac{kT}{\sigma V_{\text{акт}}} = \frac{\Delta S/S}{\Delta \Gamma(C)} \quad (1)$$

где kT – характерная тепловая энергия атомов;

σ – критическое напряжение, например, предел текучести;

S – сопротивление микросколу, равное максимальному растягивающему напряжению σ_{max} в момент разрыва образца;

$\Delta \Gamma(C)$ – статистическая сумма или функция концентрации (активности), определяющая термодинамический потенциал водорода в зоне металл-водородного взаимодействия.

Для водорода на стадии нестационарной диффузии установлена эмпирическая зависимость:

$$\Delta \Gamma(C) = \exp(0,25C)^{0,5}, \quad (2)$$

где C – концентрация водорода ($\text{см}^3/100\text{г}$).

При необратимой водородной хрупкости функция активности равна

$$\Delta G(C) = (0,25C)^{0,5} \quad (3)$$

Ниже обсуждаются экспериментальные результаты, которые качественно и количественно подтверждают, что ПВП является мерой структурной, химической и механической микронеоднородности стали.

Впервые по данному вопросу авторы выступили с докладом на семинаре «Структурная и химическая неоднородность в материалах» (г. Киев, октябрь 1990 г.) [8]. В работах [9,10] методом рентгеновской дифракции *in situ* было установлено, что на стадии нестационарной (первые 2-3 часа) диффузии водорода через мембраны значения характеристик тонкой структуры феррита (физического уширения дифракционных линий, интегральной интенсивности, межплоскостного расстояния) испытывают стохастические колебания. По характеристикам тонкой структуры рассчитаны микронапряжения, инициируемые диффузией водорода. Увеличения и сбросы напряжений по мере диффузии водорода повторялись, нарастали, достигали максимума через 1-2 часа наводороживания и зависели от исходной структуры и термообработки. На стационарной стадии диффузии стохастичность в значениях характеристик тонкой структуры не наблюдалась. Рентгеноструктурный анализ показал, что водород избирательно действует на решетку феррита. Самый высокий уровень напряжений наблюдался в плоскости преимущественного скольжения (110) феррита, а в случае низкоотпущенного мартенсита – в плоскости двойникования (211). Анизотропную реакцию α – железа на внедрение водорода наблюдали на моно [11] и поликристаллах [12]. Различные величины микронапряжений по отдельным кристаллографическим плоскостям и высокий уровень микронапряжений в плоскости скольжения можно объяснить неоднородной диффузией водорода по кристаллической решетке.

Структура и фазовый состав стали также влияют на подвижность и распределение водорода [13-15]. Диффузия водорода через феррит, имеющий объемноцентрированную решетку, протекает значительно легче, чем через аустенит, имеющий гранецентрированную решетку. Цементит, имеющий орторомбическую решетку, обладает низкой водородопроницаемостью.

Мартенсит обладает меньшей проницаемостью, чем троостит, а последний – меньшей, чем сорбит и структура нормализованной стали.

С ростом содержания углерода от 0,14 до 0,9% проницаемость водорода в стали растет, а дальше уменьшается. Эти данные истолковываются следующим образом. В доэвтектоидных сталях, структурными составляющими которых являются феррит и перлит, количество перлита пропорционально содержанию углерода. Поэтому увеличение содержания углерода до 0,9% приводит к увеличению числа мелкодисперсных зерен

феррита, входящих в состав перлита, следовательно, к увеличению суммарной протяженности межзеренных границ, что способствует увеличению потока диффундирующего через сталь водорода, так как границы зерен являются наиболее легкими путями для водорода. Проницаемость цементита для водорода крайне мала, т.е. её можно принять равной нулю и считать, что диффузия проходит только через ферритную составляющую структуры. Поэтому зернистый перлит, образующий большие ферритные поля, имеет большую проницаемость, чем пластинчатый перлит. Следовательно, к неоднородной диффузии водорода по кристаллической решетке феррита добавляется неоднородная диффузия через фазы и межфазные границы. К тому же, зерна структуры различно ориентированы относительно фронта диффузии, что дополнительно создает градиенты напряжений и концентраций. Все перечисленные особенности неравномерной, избирательной, анизотропной диффузии водорода объясняют высокий уровень концентрационных микронапряжений (локально превышающий предел текучести), наблюдаемый при диффузии водорода при комнатных температурах. Высокий уровень микронапряжений стимулирует диффузионно-вязкую или сдвиговую микропластичность, в результате которой может происходить частичная релаксация напряжений или образование микротрещин. Все зависит от адаптационной способности материала к переключению трансляционно-ротационных мод деформации с одного структурного уровня на другой [1,4].

Убедительной демонстрацией связи микроструктурной неоднородности стали и водородно-стимулированного локального растрескивания являются структурно-механические испытания [16]. Из стали 20 и 30ХМА в различных структурных состояниях готовили плоские образцы с одной полированной поверхностью. После одночасового наводороживания образцы подвергали изгибу на угол 120° . В микроскопе МИМ 7 изучали микродеформационный рельеф. Наводороживание проводили в насыщенной сероводородом воде с подкислением 5% соляной кислотой до $\text{РН} = 0,6$ без наложения внешней катодной поляризации.

На рисунке представлен вид микрорельефа пластической деформации поверхности образцов стали после наводороживания и изгиба (увеличение $\times 300$).

Вид (а) представляет сталь 30ХМА, подвергнутую закалке и низкому отпуску (нагрев при 880°C – 20 мин., закалка в воду + отпуск при 300°C – 40 мин). Как известно, при такой термообработке образуется метастабильная переходная структура – бейнит. Обращает внимание весьма неравномерное распределение микродеформации: сильная локализация деформации в приграничной зоне, разрушение по первичным зернам аустенита.

Вид (б) представляет сталь 20 после нормализации (нагрев при 920°C – 1 час, охлаждение на воздухе). Структура после нормализации равновесная, однородная. После наводороживания и изгиба также наблюдается локализация деформации, но в значительно меньшей мере. Деформация распределена более равномерно, наблюдаются следы пластической деформации не только в

приграничной области, но и по телу зерна. Наблюдаются микротрещины по некоторым границам зерен.

Вид (в) представляет сталь 20 после комбинированной, так называемой взрывотермической обработки (ВЗТО). Данная обработка включает в себя нормализацию + взрывную обработку косой ударной волной $P = 4 \text{ ГПа}$ + нормализацию. В результате такой обработки, как известно [17], образуется мелкозернистая феррито-перлитная структура, балл зерна увеличивается с 6 до 7 по сравнению с исходной нормализованной сталью 20. Данная структура после наводороживания и деформации изгибом показывает равномерное распределение микродеформации, работает все поле поверхности. Линии деформации короткие, с различной внутризеренной ориентацией и в виде петель. Некоторые следы рельефа можно принять за субмикротрещины, но их слияния, как в случаях (а) и (б), не видно.

Дальнейшие исследования режимов ВЗТО показали, что можно достичь значительной структурной и химической гомогенизации, улучшить механические свойства и водородокоррозионную стойкость стали [18].

Таким образом, представленных результатов рентгеновских и структурно-механических испытаний наводороженной стали достаточно, чтобы сделать вывод, что водородная хрупкость обусловлена локализацией металл-водородного взаимодействия в зонах структурной и химической микронеоднородности, в зонах концентраций напряжений. Такие выводы сделаны давно, начиная с работ Трояно до различных ловушковых теорий взаимодействия водорода с дефектами структуры и адсорбционно-декогезионных теорий ВХ [15]. В большинстве теорий водородной хрупкости в качестве локального фигурирует молярный объем водорода в металле, который является консервативной величиной. В то же время в физику прочности и разрушения давно вошли понятия о локализованных зонах с предельными деформациями и об активационных объемах процессов деформации и разрушения материалов [1-3].

Впервые представления о локализованных активационных объемах металл - водородного взаимодействия положены в основу модели водородной хрупкости в работах [6, 7, 19]. При термодинамическом анализе системы металл-водород использовано соотношение Гиббса-Дюгема, а локальный термодинамический потенциал водорода в металле в неявном виде представлен как потенциал решеточного газа [7]. Экспериментальные результаты такой подход подтвердили, что позволило сформулировать синергетический закон водородной повреждаемости стали (соотношения 1-3).

Параметр ω в уравнении (1) является откликом стали на воздействие водорода. Для конструкционной стали с $\sigma_{0,2} = 150 - 1700 \text{ МПа}$ экспериментальные значения ω соответственно изменялись от 0,01 до 0,3 [19].

В работе [20] по значениям ω исследованы локальные зоны металл - водородного взаимодействия – активационные объемы хрупкого разрушения стали отрывом. При расчете по уравнению (1) значений $V_{\text{акт}}$ исходили из модели микроскола: разрушение отрывом происходит при достижении предела текучести стали. Ниже, в таблице, представлены экспериментальные значения

параметра водородной повреждаемости ω и активационные характеристики микроскола различных марок стали [20].

Данные таблицы согласуются с результатами структурно-механических испытаний. Сталь 20 после ВЗТО имеет активационный объем ($V_{\text{акт}} = 790 \cdot 10^{-30} \text{ м}^3$), значительно превышающий активационные объемы стали 20 после нормализации ($V_{\text{акт}} = 276 \cdot 10^{-30} \text{ м}^3$) и высокопрочной стали 30ХМА ($V_{\text{акт}} = 16 \cdot 10^{-30} \text{ м}^3$). Следовательно, малый активационный объем металл – водородного взаимодействия означает сильную локализацию деформации, при которой трансляционно-ротационный вихрь не передается на следующий структурный уровень деформации, а релаксирует в микротрещину.

Таким образом, параметр водородной повреждаемости ω является мерой микронеоднородности и способности структуры разгрузить концентраторы напряжений подключением следующих структурных уровней деформации. В законе повреждаемости водород выступает в качестве агента для зондирования микронеоднородностей и спектра энергий хрупкого разрушения структур при микросколе [21].

Список использованной литературы:

1. Панин В.Е. Структурные уровни пластической деформации и разрушения [Текст] / В.Е. Панин, Ю.В. Гриняев, В.И. Данилов и др. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд. – ние, 1990. – 255 с.: ил.
2. Иванова В.С. Синергетика: Прочность и разрушение металлических материалов [Текст] / В.С. Иванова. – М.: Наука, 1992. – 160 с.: ил.
3. 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.: ил.
4. Физическая мезомеханика и компьютерное конструирование материалов. В двух томах [Текст] / Отв. ред. В.Е. Панин. - Новосибирск: Наука. Сиб. изд. фирма РАН, 1995. – т. 1. – 293 с., т. 2. – 317 с.: ил.
5. Олемской А.И. Синергетика конденсированной среды [Текст] / А.И. Олемской, А.А. Кацнельсон – М: Едиториал УРСС, 2003. – 336 с.: ил.
6. Савченков Э.А. Модель микроскола при водородном охрупчивании стали [Текст] // Изв. АН СССР. Металлы, 1990. – № 4. – с. 148 –152.
7. Савченков Э.А. Отклик конструкционной стали на водородное воздействие [Текст] // Изв. РАН. Металлы, 1992. – № 4. – с. 202 – 208.
8. Вялых Л.В. (Шашкова Л.В.), Савченков Э.А., Шашкова В.К. Структурно-химическая микронеоднородность и эффекты неустойчивости, активируемые диффузией водорода в стали [Текст]. – с. 161 – 162. Савченков Э.А. Параметр водородной повреждаемости как характеристика структурно-химической микронеоднородности стали [Текст]. – с. 163 – 164. / Структурная и химическая неоднородность в металлах. I Всесоюзная

- школа – семинар. Тезисы докладов. – Киев: Ин.-т проблем материаловедения АН УССР, 1990. – 250 с.
9. Савченков Э.А., Шашкова Л.В., Шашкова В.К. Влияние диффузионного движения водорода на характеристики тонкой структуры и микродеформацию феррита [Текст] // Известия РАН. Металлы, 1997. - № 4. – с. 75 – 79.
 10. 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. – т. 2. - с. 107 – 111.
 11. Okamoto T., Nakajima K. Stress – strain analysis of Fe and Cu single crystals induced by absorbed hydrogen [Текст] // J. Phys. D.: Appl. Phys., 1977. - v. 10. – p. 2445.
 12. Matsui H., Kimura A., Kimura H. The orientation dependence of the yield and flow stress of high purity iron single crystals doped with hydrogen [Текст] // Strength of metals and alloys / Proc. 5 th Intern. Conf. Toronto, 1979. – v.2. – p. 977.
 13. Гельд П.В. Водород и несовершенства структуры металлов [Текст] / П.В. Гельд, Р.А. Рябов, Е.С. Кодес. - М.: Металлургия, 1979. – 221с.: ил.
 14. Гельд П.В. Водород в металлах и сплавах [Текст] / П.В. Гельд, В.А. Рябов. - М.: Металлургия, 1974. – 272с.: ил.
 15. Колачев В.А. Водородная хрупкость металлов [Текст] / М.: Металлургия. – 1985. – 217с.: ил.
 16. Светличкин А.Ф. Исследование механизма и кинетики охрупчивания трубных сталей в условиях напряженного состояния и воздействия влажного сероводорода [Текст] / Дисс. ... канд. техн. наук. – Москва – Оренбург, 1978. – 229 с.: ил.
 17. Савченков Э.А., Айткулов Р.Р., Светличкин А.Ф. Взрыво-термическая обработка как способ снижения сульфидного растрескивания и водородной хрупкости стали [Текст] / ФиХОМ, 1980. - № 4. – с. 90 – 95.
 18. Савченков Э.А., Щербилис И.А., Айткулов Р.Р., Светличкин В.Ф. Авторское свидетельство № 1295757. Способ обработки конструкционных сталей [Текст]. Приоритет от 19.12.1983.
 19. Савченков Э.А. О водородной повреждаемости конструкционной стали [Текст] // Изв. АН СССР. Металлы. – М., 1989. - № 6. – с. 141 – 145.
 20. Савченков Э.А. Параметр повреждаемости и кластерный механизм водородной хрупкости стали [Текст] // ВЕСТНИК ОГУ, 2006. т. 2. - № 2. – с. 83 – 86.
 21. Савченков Э.А. Фрактальный спектр энергий разрушения структур диффузионно-активированной водородом стали [Текст] // ВЕСТНИК ОГУ, 2004. - № 2. - с. 158 - 162.

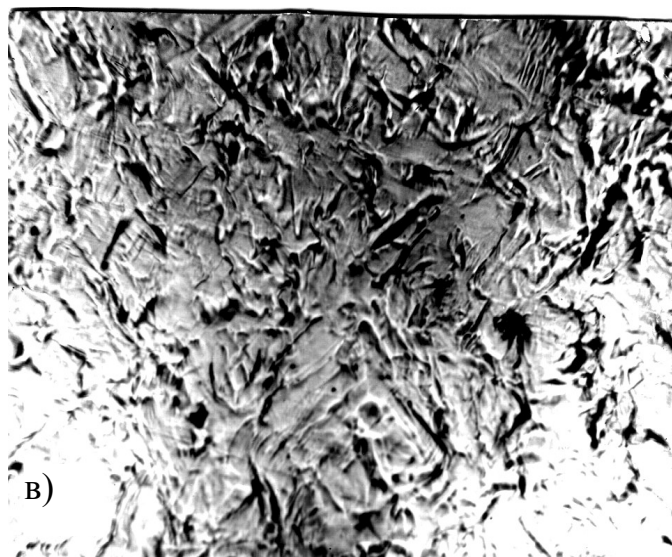
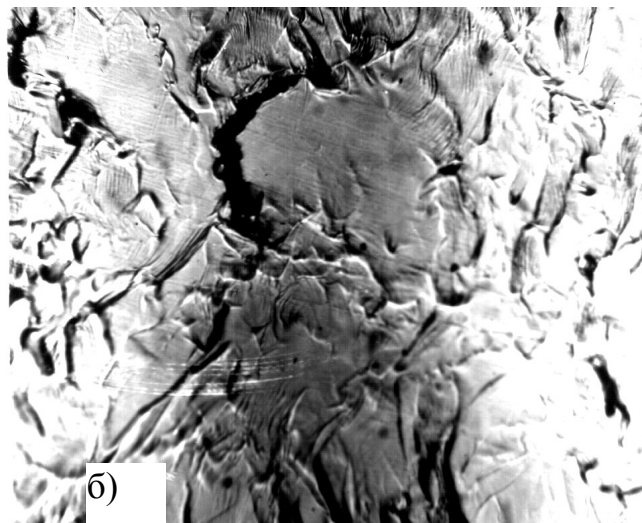
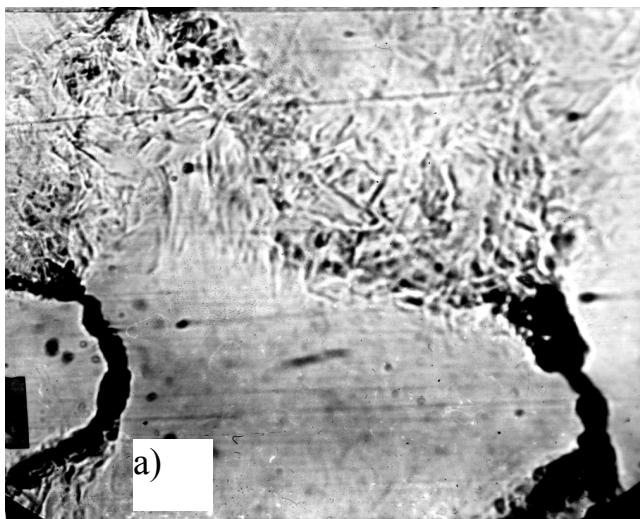


Таблица. Параметр водородной повреждаемости (ω) и

Рисунок. Микродеформационный рельеф поверхности образцов стали с различной исходной структурой после наводороживания и последующей деформации изгибом. Увеличение $\times 300$.

а – сталь 30ХМА в высокопрочном состоянии со структурой бейнита (нагрев при 880°C – 20 мин., закалка в воду, отпуск при 300°C – 40 мин);

б – сталь 20 после нормализации с феррито-перлитной структурой, балл зерна – 6 (нагрев при 920°C – 1 час, охлаждение на воздухе).

в – сталь 20 после ВЗТО (нормализация, взрывная обработка косой ударной волной $P = 4\text{ ГПа}$, снова нормализация). Структура – мелкозернистый феррито-перлит, балл зерна – 7.

№ п/п	Сталь	S МПа	$\sigma_{0,2}$ МПа	ω %	W _{акт}		V _{акт}
					эВ	МДж/м ³	$\times 10^{-30}$, м ³
1	30 ХМА, закалка и отпуск 400°C	2200	870	30	0,09	1170	16
2	AISI 4340	-	1720	30	0,09	1170	8
3	18ХГМФ, отпуск 740°C	1500	650	18	0,14	1950	36
4	Сталь 20, нормализация	960	300	5	0,52	7022	276
5	Х46, контролируе мая прокатка	1150	380	2,8	0,93	12540	389
6	ЗОХМА, улучшение	1630	670	2,6	0,99	13500	238
7	Сталь 20 с ячеисто -полигональной субструктурой после ВЗТО	1050	350	1,5	1,73	23400	790

* Примечание. Период кристаллической решетки α - фазы железа $d = 2,86 \times 10^{-10}$ м; $kT = 4,14 \times 10^{-21}$ Дж = 0,026 эВ; температура комнатная; ВЗТО - взрывная и термическая обработка.

Чмерева Т.М., Кучеренко М.Г. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АНИЗОТРОПНЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ ЛЕННАРДА-ДЖОНСА ДЛЯ РАСЧЕТОВ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ТЕРМОДИФФУЗИОННОГО ФАКТОРА В МОДЕЛИ ГАЗА ЛОРЕНЦА

Оренбургский государственный университет, Оренбург

Для решения важной проблемы лазерной термохимии ультрадисперсных систем – управляемого локального концентрирования компонентов в нанореакторах - предложена и обоснована новая лазерная технология обогащения наночастиц (макромолекулярных глобул в растворах и нанополостей пористой структуры с тепловыми сенситизаторами) молекулярным кислородом, инжестируемым в разогретые области по механизму термодиффузии [1]. В ходе реализации этой технологии встает задача определения набора основных параметров, характеризующих эффективность термодиффузионного обогащения кислородом нанореакторов, а также оценки величины локального выхода реакции после лазерного воздействия на систему [2].

Для вычисления коэффициента термодиффузии молекул кислорода в пористой среде воспользуемся моделью газа Лоренца [3-4]. Газ Лоренца представляет собой двухкомпонентную газовую смесь, в которой молекулы одного газа намного легче молекул другого $m_1 \ll m_2$ и концентрация легких молекул много меньше концентрации тяжелых $n_1 \ll n_2$. В качестве молекул тяжелого газа будут выступать молекулы пористой среды. Выражение для термодиффузионного фактора двухкомпонентной смеси было получено в работах Мончика и Мэсона [4]. В специальных обозначениях оно записывается следующим образом [5-6]

$$\alpha_T = x_1 x_2 \left(6C_{12}^* - 5 \right) \frac{S_1 x_1 - S_2 x_2}{Q_1 x_1^2 + Q_2 x_2^2 + Q_{12} x_1 x_2}, \quad (1)$$

где $x_{1,2} = n_{1,2}/n$ - мольные доли компонентов смеси 1 и 2. Величины $S_{1,2}$, $Q_{1,2}$ и C_{12}^* выражаются через Ω - интегралы и их можно найти в вышеуказанных источниках. Под Ω - интегралом понимают интегралы вида

$$\Omega_{12}^{(l,s)} = \sqrt{\frac{2\pi kT}{\mu_{12}}} \int_0^\infty \int_0^\infty e^{-\gamma^2} \gamma^{2s+3} (1 - \cos^l \chi) b db d\gamma, \quad (2)$$

где μ_{12} - приведенная масса сталкивающихся молекул, $\gamma = \sqrt{\frac{\mu_{12}}{2kT}}g$ - приведенная начальная относительная скорость сталкивающихся молекул, g - относительная скорость сталкивающихся молекул, b - прицельный параметр, χ - угол отклонения молекул при столкновении в системе центра масс. Угол рассеяния χ в центральном поле находится по формуле классической механики [7]

$$\chi = \pi - 2 \int_{r_0}^{\infty} \frac{b dr}{r^2 \sqrt{1 - b^2/r^2 - 2U(r)/\mu_{12}g^2}}, \quad (3)$$

где r_0 - корень выражения, стоящего под знаком радикала, $U(r)$ - энергия межмолекулярного взаимодействия (потенциал).

В случае газа Лоренца $x_1 \rightarrow 0$, $x_2 \rightarrow 1$, и формула для термодиффузионного фактора упрощается

$$\alpha_T = \left(5 - 6C_{12}^*\right) \frac{S_2}{Q_2},$$

и после подстановки S_2 и Q_2 приобретает окончательный вид

$$\alpha_T = \frac{5 - 6C_{12}^*}{5 - 12B_{12}^*/5}, \quad (4)$$

где коэффициент B_{12}^* также выражается через Ω - интегралы.

В нашей задаче взаимодействие между молекулой кислорода и молекулой матрицы не является центральным, и в качестве потенциала взаимодействия мы выбрали потенциал наиболее подходящей по структуре системы: линейная молекула (молекула кислорода) – инертный атом (атом пористой матрицы). Потенциал такой системы зависит от расстояния r и полярного угла θ (рис. 1).

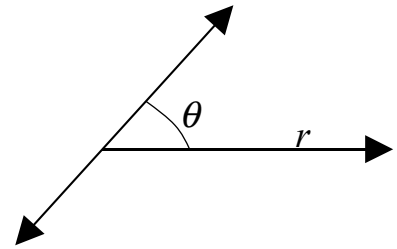


Рис. 1

В общем виде он может быть разложен в ряд по полиномам Лежандра $P_n(\cos\theta)$. В случае гомоядерных молекул в разложение входят только четные полиномы, причем для практических расчетов достаточно ограничиться двумя членами ряда [8]. Часто для описания таких систем пользуются анизотропной модификацией потенциала Леннарда-Джонса [9]

$$U(r, \theta) = U_0 \left\{ \left[\left(\frac{r_m}{r} \right)^{12} - 2 \left(\frac{r_m}{r} \right)^6 \right] + \left[\alpha_s \left(\frac{r_m}{r} \right)^{12} - 2\alpha_l \left(\frac{r_m}{r} \right)^6 \right] P_2(\cos\theta) \right\}, \quad (5)$$

который содержит четыре независимых параметра. Параметры U_0 и r_m определяют глубину потенциальной ямы и равновесное расстояние, величина коэффициентов α_l и α_s характеризует относительный вес анизотропной составляющей потенциала для отталкивания и притяжения соответственно.

Существует другая анизотропная модификация потенциала Леннарда-Джонса [10]

$$U(r, \theta) = U_0(\theta) \left\{ \left[\frac{r_m(\theta)}{r} \right]^{12} - 2 \left[\frac{r_m(\theta)}{r} \right]^6 \right\}, \quad (6)$$

где $U_0(\theta) = \bar{U}_0(1 + aP_2(\cos\theta))$ и $r_m = \bar{r}_m(1 + bP_2(\cos\theta))$. Потенциал (6), так же как и (5), содержит четыре параметра. Однако этот потенциал более чувствителен к изменению параметров a и b , отвечающих за анизотропию.

Поскольку потенциалы взаимодействия в форме (5) и (6) анизотропны, возникают сложности в вычислении угла рассеяния частиц при столкновении. Одним из подходов, позволяющих учесть свойства несферичного потенциала, является метод Мончика и Мезона [11]. Авторами показано, что максимальные изменения скоростей молекул при столкновениях происходят в области наибольшего их сближения и, следовательно, в течение отрезка времени, составляющего довольно малую часть от полного времени взаимодействия. Поскольку молекулы в среднем за время соударения успевают сделать один оборот, максимальное изменение их скоростей происходит при фиксированной взаимной ориентации. Авторы предложили вычислять Ω - интегралы для фиксированной относительной ориентации молекул, а затем усреднять их по всевозможным ориентациям молекул исходя из равной вероятности любой ориентации. В случае потенциала: линейная молекула – инертный атом получаем

$$\langle \Omega_{12}^{(l,s)} \rangle = \frac{1}{2} \int_0^\pi \Omega_{12}^{(l,s)} \sin\theta d\theta.$$

Затем усредненные Ω -интегралы нужно подставить в формулы для расчета коэффициентов B_{12}^* и C_{12}^* .

Нами были проведены расчеты термодиффузионного фактора α_T для лоренцевского газа, моделирующего рассматриваемую систему: молекулы кислорода в пористой среде. Взаимодействие молекул кислорода с атомами среды описывалось потенциалами (5) и (6). Вычисления были проведены при следующих параметрах $U_0 = 300K$, $r_m = 0.35 \text{ нм}$, $\alpha_s = 0.38$ и $\alpha_l = 0.19$ в потенциале (5) и $\bar{U}_0 = 300K$, $\bar{r}_m = 0.35 \text{ нм}$, $a = 0.2$ и $b = 0.2$ в потенциале (6).

Результаты расчетов коэффициентов B_{12}^* и C_{12}^* для потенциала (5) представлены в таблице 1. Как видно из таблицы, эти коэффициенты близки к единице, что согласуется с расчетами других авторов [5-6]. Оказалось, что учет анизотропии потенциала приводит к незначительному изменению их величины.

Таблица 1

Т, К	Изотропный потенциал		Анизотропный потенциал $\square=0$		Анизотропный потенциал $\square$		Усреднение по углам	
	B_{12}^*	C_{12}^*	B_{12}^*	C_{12}^*	B_{12}^*	C_{12}^*	B_{12}^*	C_{12}^*
180	1.2646	0.8242	1.2705	0.8223	1.2646	0.8284	1.2664	0.8239
200	1.2510	0.8243	1.2564	0.8220	1.2520	0.8281	1.2595	0.8238
220	1.2376	0.8256	1.2425	0.8231	1.2393	0.8290	1.2391	0.8250
240	1.2248	0.8278	1.2294	0.8251	1.2269	0.8307	1.2262	0.8271
260	1.2129	0.8307	1.2172	0.8278	1.2153	0.8332	1.2142	0.8299
280	1.2020	0.8339	1.2060	0.8309	1.2045	0.8360	1.2032	0.8331
300	1.1922	0.8374	1.1958	0.8343	1.1947	0.8392	1.1932	0.8366
320	1.1832	0.8410	1.1866	0.8380	1.1857	0.8425	1.1842	0.8402

На рис. 2. изображена зависимость термодиффузионного фактора от температуры для потенциала (5). Сплошной кривая получена в результате усреднения $\square$ -интегралов по всевозможным ориентация молекул, пунктирная кривая рассчитана при фиксированном полярном угле $\square = 90^\circ$, штриховая кривая – при угле $\square = 0^\circ$, штрихпунктирная кривая получена для изотропного потенциала Леннард-Джонса. Для потенциала (6) аналогичные зависимости представлены на рис. 3. Из рисунков видно существенное влияние на термодиффузионный фактор взаимной ориентации молекул кислорода и среды, однако усреднение по ориентациям молекул приводит к тому, что учет анизотропии потенциала дает малую добавку к величине $\square_T$, рассчитанной в случае изотропного потенциала.

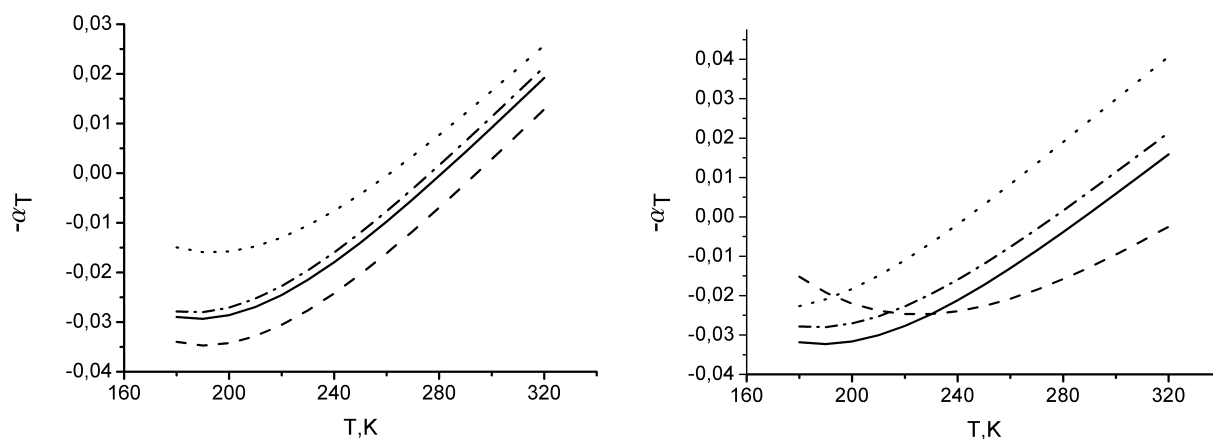


Рис.2

Зависимость термодиффузионного фактора от температуры для потенциала (5). Усреднение $\square$ -интегралов по всевозможным ориентация молекул – сплошная кривая; изотропный случай – штрихпунктирная кривая. Остальные кривые отвечают фиксированным углам ориентации при столкновении.

Рисунок 4 иллюстрирует зависимость

термодиффузионного фактора от глубины ямы U_0 потенциала (5). Сплошная кривая получена при $U_0 = 300K$, штриховая – при $U_0 = 350K$, штрихпунктирная – при $U_0 = 250K$, пунктирная – при $U_0 = 200K$. Из рисунков видно, что с уменьшением притяжения между молекулами величина α_T возрастает. Так как чем меньше притяжение, тем траектория молекулы кислорода в среде менее извилистая. В случае полного отсутствия притяжения, например, в модели потенциала твердых сфер $\alpha_T = -1/2$.

Таким образом, в данной работе получены температурные зависимости термодиффузионного фактора $\alpha_T(T)$ в модели газа Лоренца с учетом анизотропии межмолекулярного взаимодействия. Установлено, что несферичность потенциала не оказывает существенного влияния на величину Ω -интегралов (изменения порядка 1-го %).

Работа выполнялась благодаря поддержке грантом РФФИ – ФОИН (проект № 06-08-00168), а также по заданию министерства образования и науки РФ.

Рис.3

Зависимость термодиффузионного фактора от температуры для потенциала (6). Усреднение $\square$ -интегралов по всевозможным ориентация молекул – сплошная кривая; изотропный случай – штрихпунктирная кривая

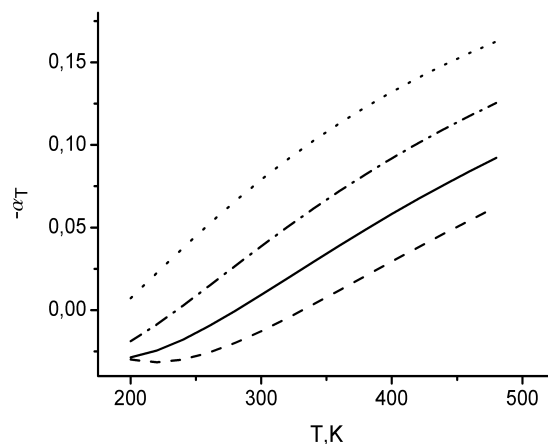


Рис. 4

Л и т е р а т у р а:

1. Проект № 06-08-00168 РФФИ по фундаментальным основам инженерных наук «Селективная лазерная инжекция молекул кислорода в обогащенные реагентом полимерные глобулы жидких растворов и поры твердых наноструктур с люминесцентным мониторингом эффективности реакций в технологическом процессе». 1986.
2. Кучеренко М.Г., Человечков В.В., Русинов А.П. Лазерная термическая интенсификация молекулярных реакций в микропорах. Матер. Всеросс. научно-практ. конфер. «Вызовы XXI века и образование». Секция 9. Вопросы фундамент. и прикладной физики. Оренбург: ОГУ. 2006. –С. 35-40.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Том **10**. Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. Физическая кинетика. М.: Физматлит. 2001. -536 с.
4. Базаров И.П., Геворкян Э.В., Николаев П.Н. Неравновесная термодинамика и физическая кинетика. М.: МГУ. 1089. -240 с.; Monchick L., Mason E.A. Free-flight theory of gas mixtures // Phys. Fluids. 1967. -V. 10. –P. 1377.
5. Ферцигер Дж., Канер Г. Математическая теория процессов переноса в газах. М.: Мир. 1976. 556 с.
6. Гинзбург И.П. Трение и теплопередача при движении смеси газов. Л.: Изд-во ЛГУ. 1975. -278 с.
7. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Т.1 Механика. М.: Наука. 1988. -216с.
8. Каплан И.Г. Введение в теорию межмолекулярных взаимодействий. М.: Наука. 1982. -312 с.
9. Foster K.R., Rugheimer J.H. // J. Chem. Phys. 1972. –V. 56. – P. 2632.
10. Pack R.T. // Chem. Phys. Lett. 1978. –V. 55. –P. 197.
11. Monchick L., Mason E.A. Transport properties of polar gases // J. Chem. Phys. 1961. -V. 35. –P. 1676.

Якунин И.Н., Бердинский В.Л. ОБ ОДНОМ СВОЙСТВЕ ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНЫХ ОПЕРАТОРОВ ЭВОЛЮЦИИ КВАНТОВОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург

Эволюция квантовомеханических систем, описываемых гамильтонианом H , не зависящим от времени t , определяется экспоненциальным оператором эволюции $U(t) = e^{-iHt/\hbar}$. Операторы U и U^+ определяют эволюцию систем, находящихся как в чистом квантовомеханическом состоянии, характеризуемом вектором состояния $|\Psi\rangle$ или волновой функцией Ψ , так и в смешанном состоянии, описываемом матрицей плотности $\rho(t) = U(t)\rho_0 U^+(t)$. В общем случае точные вычисления операторов U и U^+ практически невозможны, поэтому широкое применение получили различные приближенные методы. Аналогичные экспоненциальные операторы появляются и в квантовомеханических теориях, описывающих неравновесные необратимые процессы. Однако если в результате необратимых процессов число частиц в некотором подпространстве состояний не сохраняется, то оператор A , стоящий в показателе экспоненты, оказывается неэрмитовым. Это обстоятельство усложняет поиск и точных и приближенных решений эволюционных и кинетических уравнений для матрицы плотности ρ . В данной работе доказывается теорема, позволяющая получать точные выражения для некоторого класса экспоненциальных операторов эволюции в алгебраическом виде.

Теорема: Пусть произвольный оператор A (не обязательно эрмитов) обладает свойством

$$A^2 = c^2 I, \quad (1)$$

где c – числовой коэффициент, I – единичная матрица. Тогда $e^A = Ch(c) + (A/c)Sh(c)$.

Доказательство. В соответствии с обычным определением функции от операторов представим e^A в виде ряда

$$e^A = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{A^n}{n!}$$

Тогда, группируя четные и нечетные степени оператора A , получим:

$$e^A = 1 + \frac{c^2}{2!} + \frac{c^4}{4!} + \frac{c^6}{6!} + \dots \\ + (A + \frac{c^2 A}{3!} + \frac{c^4 A}{5!} + \frac{c^6 A}{7!} + \dots)$$

Сумма четных степеней c есть представление гиперболического косинуса $Ch(c)$, а сумма нечетных дает представление гиперболического синуса $Sh(c)$ с множителем A/c . В результате получаем $e^A = Ch(c) + (A./c)Sh(c)$
Теорема доказана.

В общем случае условие (1) накладывает жесткие ограничения на вид оператора A .

Однако легко показать, что оно выполняется для произвольных бесследовых матриц размерности 2×2 , для которых справедливо $Tr A = 0$, и для неэрмитовых матриц, представимых в виде суммы бесследовой и единичной матриц. Использование этих свойств операторов и матриц позволяет получать точные решения квантовомеханических эволюционных уравнений, описывающих необратимые процессы.

