

На правах рукописи



Чаусов Денис Николаевич

Свойства структурированных систем
различного фазового состава
с мезогенами и растворами полимеров

Специальность 01.04.07 –
Физика конденсированного состояния

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
доктора физико–математических наук

Мытищи – 2019

Работа выполнена на кафедре теоретической физики Государственного образовательного учреждения высшего образования Московской области Московского государственного областного университета

Научный консультант: доктор технических наук, профессор, Беляев Виктор Васильевич

Официальные оппоненты:

Аксенова Елена Валентиновна, доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», профессор кафедры статистической физики

Долганов Павел Владимирович, доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики твердого тела Российской академии наук, ведущий научный сотрудник

Зырянов Виктор Яковлевич, доктор физико-математических наук, профессор, Институт физики им. Л.В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», руководитель научного направления, заведующий лабораторией молекулярной спектроскопии

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет»

Защита состоится 16 мая 2019 г. в 15:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.155.07 по физико-математическим наукам на базе Государственного образовательного учреждения высшего образования Московской области Московском государственном областном университете по адресу: 105005, Москва, ул. Радио, д. 10А.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Государственного образовательного учреждения высшего образования Московской области Московского государственного областного университета: <http://mgou.ru>

Автореферат разослан «___» _____ 2019 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 212.155.07,

кандидат физико-математическим наук, доцент



Н.Н. Барабанова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Одним из актуальных направлений физики конденсированного состояния является теоретическое и экспериментальное исследование межфазного взаимодействия органических систем со сложной геометрией на поверхности раздела фаз при воздействии тепловых, электрических и магнитных полей.

В настоящее время остаются слабоизученными многие проблемы межфазного взаимодействия, связанные с масштабными эффектами передачи физических свойств от границ раздела материалов в объем. В частности, примером таких проблем являются ориентация жидких кристаллов, критические температуры растворения растворов полимеров и др.

Для целенаправленного создания полимерных и жидкокристаллических соединений с заданными свойствами необходима информация о теплофизических характеристиках и параметрах межфазного взаимодействия имеющихся соединений. Это позволит описать фазовые переходы в этих системах, например, объяснить экспериментальные зависимости нижней критической температуры растворения (НКТР) и верхней критической температуры растворения (ВКТР) в растворах полимеров. Теоретическое описание таких систем позволит объяснить природу широкого круга органических соединений и материалов, выявить природу гидрофобных взаимодействий на качественно новом уровне.

Многие особенности влияния межфазного взаимодействия в сложно структурированных конденсированных средах, типичным примером которых являются анизотропные жидкости, жидкие кристаллы (ЖК) или системы на их основе, не исследованы до сих пор. В классических теориях взаимодействия Майера–Заупе, Хелфриха, Кихара, Мак–Миллана, а также в современных исследованиях Заннони, Осипова и Терентьева, Геворкяна, Захарова и др. не учитывается межмолекулярное взаимодействие органических молекул с поверхностью ориентирующей подложки. Учет такого взаимодействия кардинально влияет на величину полярной и азимутальной энергии сцепления при всех значениях параметра порядка и объясняет их различие по порядку величины. Решение этой задачи позволит определить влияние как сложно структурированных поверхностей, так и пространственно неоднородных структур, например, пористых.

Физические свойства и кинетика физических и физико–химических процессов, происходящих в полимерах и жидких кристаллах, в основном определяются межмолекулярным взаимодействием, химическим строением и формой молекул. Поэтому решающую роль играют методы, которые позволяют исследовать параметры, зависящие от межмолекулярного взаимодействия, такие как параметр порядка, энергия активации, коэффициенты молекулярного трения, вращательной диффузии и др. Варьируемыми параметрами при этом будут только различия в химическом строении и геометрической форме молекул.

Недавно появились новые виды органических систем с неоднородной структурой на наномасштабе. При масштабном переходе от поверхностных свойств к объемным характерный размер их структурной неоднородности существенно меньше длины когерентности.

Появление таких материалов, имеющих принципиально новые качества и позволяющих осуществлять их интеграцию в полноценно функционирующие системы большего масштаба, привело к ряду новых практических приложений и указало путь к улучшениям физических и электрооптических свойств. Для осуществления целенаправленного создания новых микро- и наноструктурных материалов с улучшенными свойствами необходимо на основе развитых в этой области методов и подходов построить модели таких новых систем и выявить основные характеристики молекул и систем на их основе. Это позволит исследовать молекулярную динамику и статику молекул и частиц, которая на сегодняшний момент недостаточно изучена.

Можно констатировать, что особенности влияния межфазного взаимодействия в сложно структурированных конденсированных средах остаются не вполне исследованными. Фундаментальные исследования сред при воздействии электрических и магнитных полей важны также и с точки зрения их широкого практического применения. Важное значение имеет одновременное измерение диэлектрической проницаемости и удельной электропроводности в диапазоне частот на стыке высокочастотной релаксации директора и низкочастотной ветви диэлектрической поляризации. Существующие методы изучения релаксационных свойств анизотропных жидкостей не позволяют исследовать динамику ориентационной структуры в условиях широкого варьирования температурных и электрических полей.

Чтобы создавать новые конкурентоспособные изделия, нужно поднять на новый уровень создание материалов и исследование их свойств, разработать методы измерения, которые отсутствуют для традиционно используемых материалов. Для наноразмерных материалов необходимо установить требования по составу выполняемых функций и требования к функциональным характеристикам (параметрам), обеспечивающие выполнение своих функций.

Рассматриваемый в диссертации круг вопросов тесно связан с теорией конденсированных сред и особенностей межфазного взаимодействия, что способствовало формированию структуры настоящей работы.

Цель диссертационной работы – решение актуальной научной проблемы межфазного взаимодействия в структурированных органических системах с мезогенами и растворами полимеров при сложной конфигурации поверхности раздела и различных внешних воздействиях.

В рамках достижения поставленной цели были решены следующие **задачи исследования**:

1. Теоретическое исследование физических свойств органических систем с

мезогенами с учетом зависимости энергии взаимодействия молекул от их взаимной ориентации и ориентации относительно неоднородной поверхности кристалла.

2. Построение теоретической модели зависимости полярной и азимутальной энергии сцепления молекул органических систем с мезогенами от углов ориентации, параметра порядка, молекулярного строения на поверхностях разной конфигурации.
3. Разработка молекулярно–статистической модели ориентации молекул мезогенов на пористой поверхности различной конфигурации.
4. Экспериментальное исследование диэлектрических свойств дисперсных систем с мезогенами и наноразмерными фрагментами полупроводниковых и углеродных материалов в широком диапазоне различных внешних воздействий.
5. Построение теоретической модели ближнего ориентационного порядка в растворах полимеров, его влияния на фазовые диаграммы состояния и связи с гидрофобными взаимодействиями в водных растворах.
6. Теоретическое и экспериментальное исследование воздействия оптического излучения на сенсibilизированную фотоиндуцированную оптическую анизотропию, основанное на учете взаимодействия возбужденных молекул с анизотропным молекулярным полем среды.

Научная новизна

1. На основе предложенной атом–атомной модели межмолекулярного взаимодействия молекул получена аналитическая зависимость полярной и азимутальной энергии сцепления ЖК с ориентирующей поверхностью от параметра порядка и объяснено их различие по порядку величины.
2. Установлено, что ориентация мезогена в микропоре обусловлена разностью значений энтропии при планарной и гомеотропной ориентации ЖК в микропоре. Показано, что характер ориентации определяется образованием кластеров ЖК в микропоре и их размерами.
3. На основе метода фотоориентации разработан новый способ получения гомогенной ориентации ЖК с использованием пористой структуры.
4. С использованием диэлектрической спектроскопии установлено влияние диполь–дипольных корреляций молекул ЖК на время диэлектрической релаксации, коэффициенты молекулярного трения и вращательной диффузии молекул.

5. Обнаружен эффект уменьшения частоты релаксации вращения молекул жидкого кристалла вокруг их короткой оси и энергии активации данного процесса при увеличении концентрации высоколюминесцентных полупроводниковых квантовых точек «ядро/оболочка» CdSe/CdS, CdSe/CdS/ZnS в ЖК–1282.
6. Впервые исследованы и проанализированы температурные и частотные зависимости значений диэлектрической проницаемости дисперсий тридецилата холестерина с наноразмерными фрагментами шунгитового углерода и графена при разных концентрациях. Обнаружено существование пороговой концентрации шунгита, при которой возникает дисперсия действительной части диэлектрической проницаемости.
7. Построена теория влияния ближнего ориентационного порядка на термодинамические свойства растворов полимеров. Впервые показана возможность существования систем с двумя верхними и двумя нижними температурами растворения. Установлено влияние ближнего ориентационного порядка на фазовые переходы в растворах полимеров.
8. Обнаружен эффект сенсibilизированного формирования и индуцированного двулучепреломления в слоях фоточувствительного полимера и азокрасителя, где каждый из реагирующих компонентов индивидуально не проявляет эффекта фотоиндуцированной оптической анизотропии в определенном спектральном диапазоне. Предложен фотофизический и фотохимический механизмы процессов, происходящих при воздействии поляризованного излучения на аморфные слои фоточувствительного полимера.

Положения, выносимые на защиту:

1. Модель энергии взаимодействия молекул мезогенов с поверхностью кристаллов различного типа в зависимости от углов между их осями и параметра порядка.
2. Модель поверхностного взаимодействия жидкого кристалла в пористой среде и метод создания гомогенной ориентации.
3. Экспериментальные результаты по параметрам молекулярной релаксации нематических и холестерических жидких кристаллов с наноразмерными включениями.
4. Теория влияния ближнего ориентационного порядка и гидрофобных взаимодействий на термодинамические свойства в растворах полимеров.
5. Эффект сенсibilизированного формирования и индуцированного двулучепреломления в слоях фоточувствительного полимера и азокрасителя.

Практическая значимость диссертационной работы состоит в решении ряда проблем, связанных с развитием физики конденсированного состояния применительно к межфазному взаимодействию в органических системах.

Установленные зависимости и построенные теории позволяют предсказывать вязкоупругие, теплофизические и релаксационные параметры новых синтезированных микро- и наноструктурных полимерных и жидкокристаллических соединений.

Полученные результаты открывают новые, а в ряде случаев неизвестные ранее возможности их применения, в частности, в голографии и системах отображения информации для получения высокоупорядоченных жидкокристаллических слоев и улучшения качества изображения, формируемого жидкокристаллическим средством отображения информации. На основе предложенных результатов получены четыре патента РФ №2612716, №2625121, №2607454, №2497167 по способам усовершенствования жидкокристаллических устройств, дисплейной техники и оптоэлектроники. Часть результатов использована в четырех методиках Государственной службы стандартных справочных данных Госстандарта РФ (№ МЭ 221–2014, № МЭ 226–2014, № МЭ 238–2015, № МЭ 265–2017). В этих методиках описаны способы экспериментального и теоретического определения физических параметров жидкого кристалла (полярная и азимутальная энергия сцепления, показатели преломления жидкого кристалла, коэффициенты вязкости) в более широком диапазоне с повышенной точностью.

Разработанные методы позволяют формировать в аморфных слоях полимера различные скрытые цветные изображения, невидимые в естественном свете невооруженным глазом, но хорошо видимые в поляризованном свете, пригодные для использования в качестве средств защиты от копирования и подделки различных ценных документов, алкогольной и фармацевтической продукции.

Достоверность полученных результатов и выводов подтверждается их согласованностью с общепринятыми методами физики конденсированного состояния и использованием современных методов моделирования и вычислений; теоретические результаты исследований согласуются с экспериментальными данными и в предельном случае переходят к известным теорией результатам.

Личный вклад автора

Все изложенные в диссертации результаты получены самим автором либо при его непосредственном участии. Автором осуществлен выбор направлений, объектов, методов исследования, постановка цели и задач. Автору принадлежит интерпретация полученных результатов.

Апробация работы: Результаты диссертации многократно докладывались и обсуждались на международных конференциях и семинарах различных университетов и научных институтов России, США, Китая, Италии, Испании и др.: XIII Межвузовской научной конференции молодых ученых «Жидкие кристаллы и «умные» наноматериалы», Иваново 2018; 14-й Европейской конференции

по жидким кристаллам, Москва 2017; Международной конференции по математическому моделированию и компьютерной физике, Дубна 2017; Международной конференции «Фоторефрактивная Фотоника», Циндао, Китай 2017; 2-й Международной конференции по «зеленой» химии и устойчивой инженерии, Рим, Италия 2016; Международной конференции «Физические свойства материалов и дисперсных сред для элементов информационных систем, нанoeлектронных приборов и экологичных технологий», Москва 2016, 2015, 2014; IX Международной научной конференции «Кинетика и механизм кристаллизации. Кристаллизация и материалы будущего», Иваново 2016; Международной научной конференции EuroDisplay SID, Гент, Бельгия 2015; 2-й международной научной конференции NANOSMAT-Asia-2015, Кайсери, Турция 2015; Международной конференции по Алмазам и Углеродным материалам, Мадрид, Испания 2014; 25-й Международной конференции по Жидким Кристаллам, Дублин, Ирландия 2014; 15-м Симпозиуме по оптике жидких кристаллов, Гонолулу, США 2013; 21-м Международном симпозиуме «Передовые дисплейные и световые технологии» (ADLT-13), Мытищи 2013; Первой Всероссийской конференции по жидким кристаллам, Иваново 2012; 14-м Международном симпозиуме «Оптика жидких кристаллов», Ереван, Армения 2011; III Международной конференции «Современные проблемы молекулярной биофизики», Санкт-Петербург 2011; 23-й Международной конференции по жидким кристаллам, Краков, Польша 2010; 15-м Международном семинаре по неорганической и органической электролюминесценции, Санкт-Петербург 2010; Пятой всероссийской Каргинской конференции «Полимеры – 2010», Москва 2010.

Публикации

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 86 научных работах, из которых 42 публикации – статьи в 15 различных международных и российских журналах, цитируемых в базах данных WoS, Scopus так и включенных в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора наук, 4 – патенты РФ, 4 – стандартные методики РФ, 2 – методические материалы и 34 – тезисы докладов.

Результаты исследования были отмечены золотой медалью Российской академии наук для молодых ученых, постановление №25 от 18.02.2014; премией Губернатора Московской области в сфере науки и инноваций для молодых ученых и специалистов, распоряжение от 22 декабря 2014 г. № 429-РГ; благодарностью (Знак отличия) Губернатора Московской области.

Исследования поддержаны грантами Президента РФ № МК-7359.2016.9, МК-2382.2014.9, МК-1969.2012.9 и грантами РФФИ: № 18-07-00727 А, № 17-47-500757 р-а, № 15-37-20441 мол-а-вед, № 15-37-50519 мол-нр, № 13-07-00339 А, № 13-07-90704 мол-нр-рф, № 12-07-31172 мол-а (соискатель руководитель проектов).

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Материал изложен на 294 страницах, включая 150 рисунков, 18 таблиц, 342 библиографических источника.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во **ВВЕДЕНИИ** показана актуальность темы диссертации, определены цели, научная новизна и практическая ценность работы, сформулированы основные положения, выносимые на защиту, дана общая характеристика и структура диссертации.

В **ПЕРВОЙ ГЛАВЕ** приведено последнее изложение физических принципов, подходов, описание физических свойств жидких кристаллов, экспериментальные данные по свойствам жидких кристаллов, методы исследования органических систем во внешних полях.

В **разделе 1.1** проведен анализ работ и теорий, описывающих взаимодействие ЖК с поверхностью. Показана существенная зависимость этого взаимодействия от физических свойств жидких кристаллов, определяемых химической структурой молекул. Выявлено, что ориентация нематических жидких кристаллов поверхностью обусловлена физико-химическими процессами и механическими взаимодействиями, которые возникают из-за анизотропии упругой энергии нематических ЖК. Проведено обсуждение работ по ориентации жидких кристаллов на поверхности кристаллов графита, с использованием моделирования методом Монте-Карло и потенциалом межмолекулярных взаимодействий Гай-Берне. В некоторых публикациях сами авторы отмечают противоречия проведенных ими исследований экспериментальным данным, полученным методом сканирующей туннельной микроскопии.

В **разделе 1.2** описаны основные представления о влиянии межмолекулярных взаимодействий на систему полимер – растворитель для объяснения ближнего ориентационного порядка. Показана существенная зависимость энергии межмолекулярного взаимодействия от углов θ и φ . Зависимость энергии взаимодействия от параметров, характеризующих ориентацию, означает, что должна существовать преимущественная ориентация молекул растворителя относительно полимерной цепи.

Раздел 1.3 посвящен анализу современных континуальных теорий диэлектрической спектроскопии, применяемых для сложно структурированных жидкокристаллических систем. Для обработки экспериментальных данных, как правило, используются эмпирические модификации уравнения Дебая, такие как уравнение Коул-Коула, Коул-Дэвидсона, Гавриляк-Негами. На практике чаще всего применяется модель Гавриляк-Негами с двумя параметрами распределения времён релаксации. Исследованы работы по диэлектрической спектроскопии систем ЖК-наночастицы (магнитных наночастиц, одностенных углеродных нанотрубок, квантовых точек) и влияние наночастиц на релаксационные процессы.

В разделе 1.4 сформулированы основные представления о фотоиндуцированной оптической анизотропии (ФИА) и об ориентации ЖК на поверхности азокрасителей. Показано, что для ФИА недостаточно изучена кинетика эффекта при различных условиях записи и стирания, нет модели физического механизма эффекта. Проведен анализ патентов и научных работ в этой области. Особый акцент сделан на работы по технологии, связанные с формированием поляризационно – картинных структур, выполненных с использованием так называемых фотоанизотропных материалов на основе фотофизически поляризационно – чувствительных, но фотохимически стабильных (в отличие от фотохимически активных поляризационно–чувствительных (на основе эффекта Вейгерта) материалов).

Во **ВТОРОЙ ГЛАВЕ** построена статистическая модель межмолекулярного взаимодействия молекул мезогенов с поверхностью кристаллов. Получены величины полярной и азимутальной энергии и их зависимости от параметра порядка.

В разделе 2.1 построена модель молекул представленных в виде жесткого стержня, на который «нанизаны» атомы. В этой модели принимается, что взаимодействующие молекулы одинаковые или их размеры отличаются незначительно. Случай значительной разницы размеров молекул компонентов описан в разделах 4.1 и 4.2. Энергия парного взаимодействия частиц описывалась потенциалом Леннарда–Джонса. В результате этого было получено выражение для межмолекулярного взаимодействия в виде

$$E = -4 \sum_{i,j} \left(\frac{A}{a_{ij}^6} \left(1 + 12 \frac{b_{ij}^2}{a_{ij}^2} \cos^2 \alpha \right) - \frac{B}{a_{ij}^3} \left(1 + 6 \frac{b_{ij}^2}{a_{ij}^2} \cos^2 \alpha \right) \right). \quad (1)$$

После суммирования выражение (1) переходит в следующее: $E = C_1 + C_2 \cos^2 \alpha$, где A, B, C_1, C_2 – константы, α – угол между взаимной ориентацией молекул, $a_{ij} = r_i^2 + r_j^2 + D^2$, $b_{ij} = r_i^2 \cdot r_j^2$, D – диаметр атома, r_i и r_j – радиус–векторы от центра координат до i -го и j -го атомов.

Если заменить угол α на угол θ между молекулой и перпендикуляром к плоскости XOY относительно значения при $\theta = 0$, то зависимость энергии относительно направления перпендикуляра $E = w'_1 + w'_2 \sin^2 \theta$, что совпадает с выражением поверхностной энергии, полученной Рапини и Популаром.

На рисунке 1 представлены результаты сравнения построенной модели с полученными в работах Рапини [1] и Блинова [2] значениями поверхностной энергии. Как видно из рисунка 1, при малых углах кривые 1, 2 и 3 совпадают. Стоит отметить, что в работах Рапини [1] и Блинова [2] исследовалась поверхностная энергия, а в построенной модели внутренняя энергия системы. Это означает, что поверхностная энергия в значительной мере определяется внутренней энергией взаимодействия. Построенная модель обобщена на случай зависимости энергии взаимодействия между молекулами ЖК от параметра порядка.

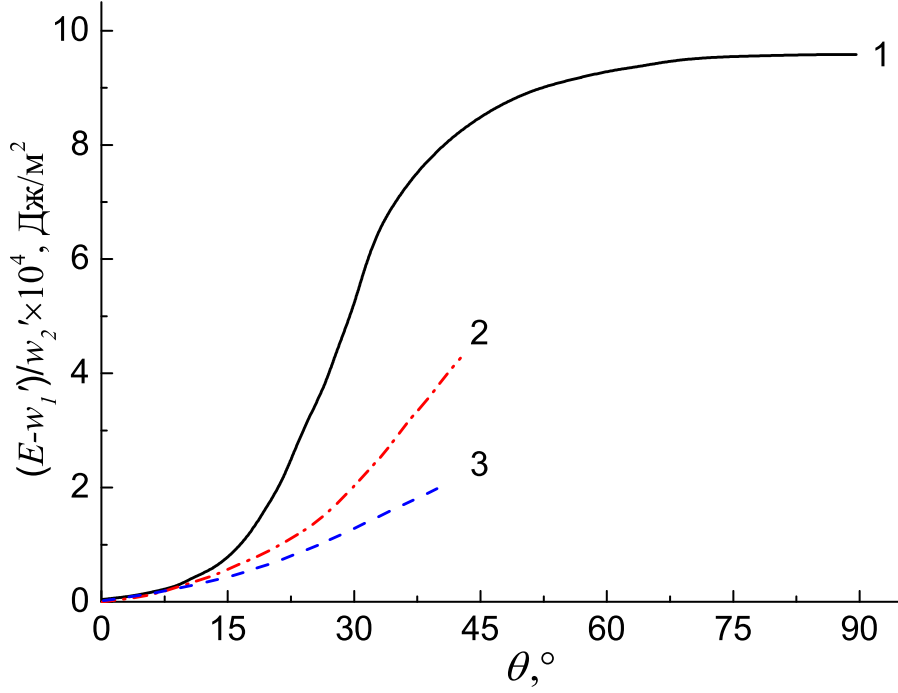


Рис. 1. Зависимость величины $(E - w'_1)/w'_2$ от угла между молекулой и нормалью к поверхности. Кривая 1 – согласно выражению (1), 2 – согласно работе Рапини [1], 3 – согласно работе Блинова [2]

Расположение молекул мезогенов и их возможные движения иллюстрированы на рис. 2. Положение молекул характеризуется радиус-векторами \vec{r}_i и \vec{r}_j и углами $\theta_i, \theta_j, \varphi_i, \varphi_j$.

В рамках этой модели получено выражение для энергии межмолекулярного взаимодействия мезогенов от углов ориентации в зависимости от параметра порядка

$$E = 2 \sum_{i,j,n} \left(A \left(\frac{C(P_2) \cos^2 \alpha + d_k}{E(P_2) \cos^6 \alpha + F(P_2) \cos^4 \alpha + G(P_2) \cos^2 \alpha + h_k} \right)^2 - B \left(\frac{C(P_2) \cos^2 \alpha + d_k}{E(P_2) \cos^6 \alpha + F(P_2) \cos^4 \alpha + G(P_2) \cos^2 \alpha + h_k} \right) \right), \quad (2)$$

где

$$C(P_2) = \sum_{k=0}^2 c_k(i, j, n) \cdot P_2^k, \quad G(P_2) = \sum_{k=0}^2 g_k(i, j, n) \cdot P_2^k, \\ F(P_2) = \sum_{k=0}^4 f_k(i, j, n) \cdot P_2^k, \quad E(P_2) = \sum_{k=0}^6 e_k(i, j, n) \cdot P_2^k,$$

$c_k(i, j, n), d_k(i, j, n), e_k(i, j, n), f_k(i, j, n), g_k(i, j, n), h_k(i, j, n)$ – функции, зависящие от числа контактов взаимодействия i -го и j -го атомов молекул нижнего и верхнего слоя. В предельном случае при значении параметра порядка $P_2(\theta)=1.0$ получается выражение (1).

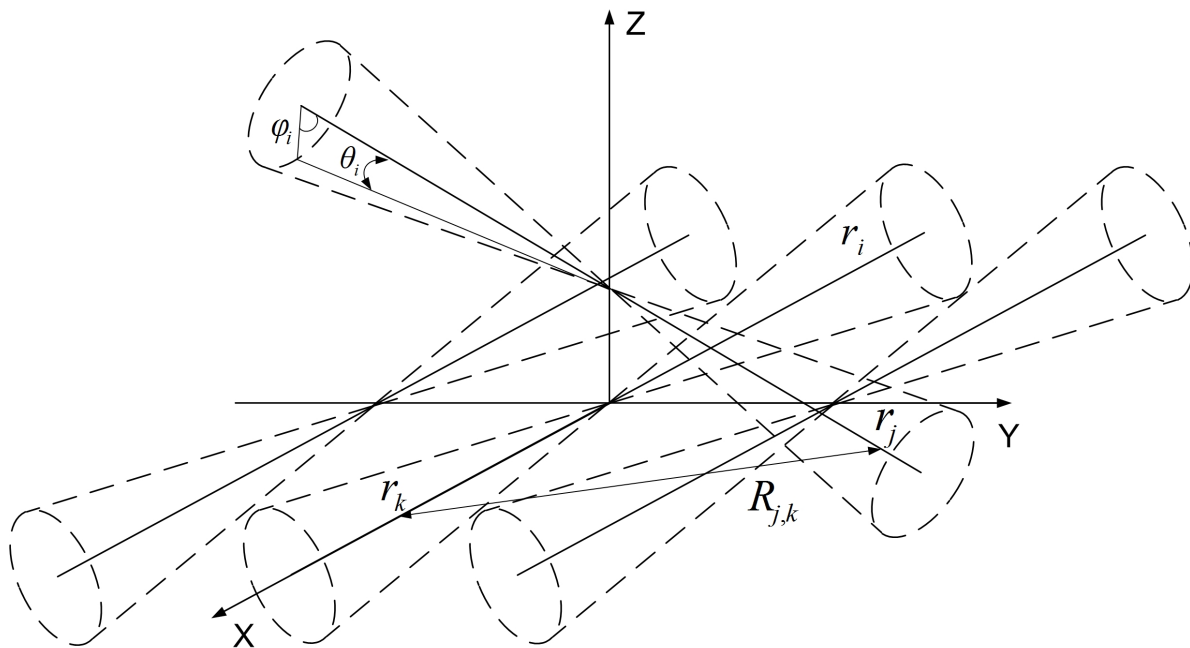


Рис. 2. Взаимное расположение молекул мезогенов

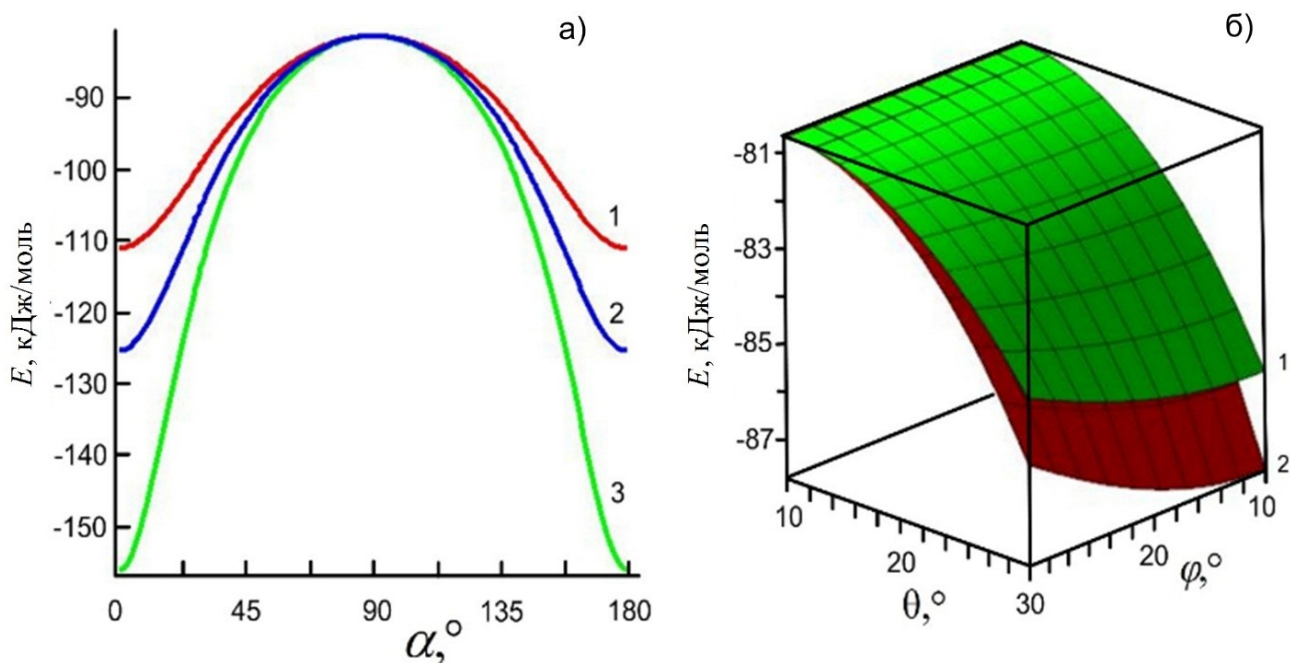


Рис. 3. Энергия межмолекулярного взаимодействия мезогенов в зависимости от (а) угла ориентации α между молекулами, (б) углов θ и φ лабораторной системы координат при параметре порядка 1 – $P_2(\theta)=0.7$; 2 – $P_2(\theta)=0.8$; 3 – $P_2(\theta)=0.9$

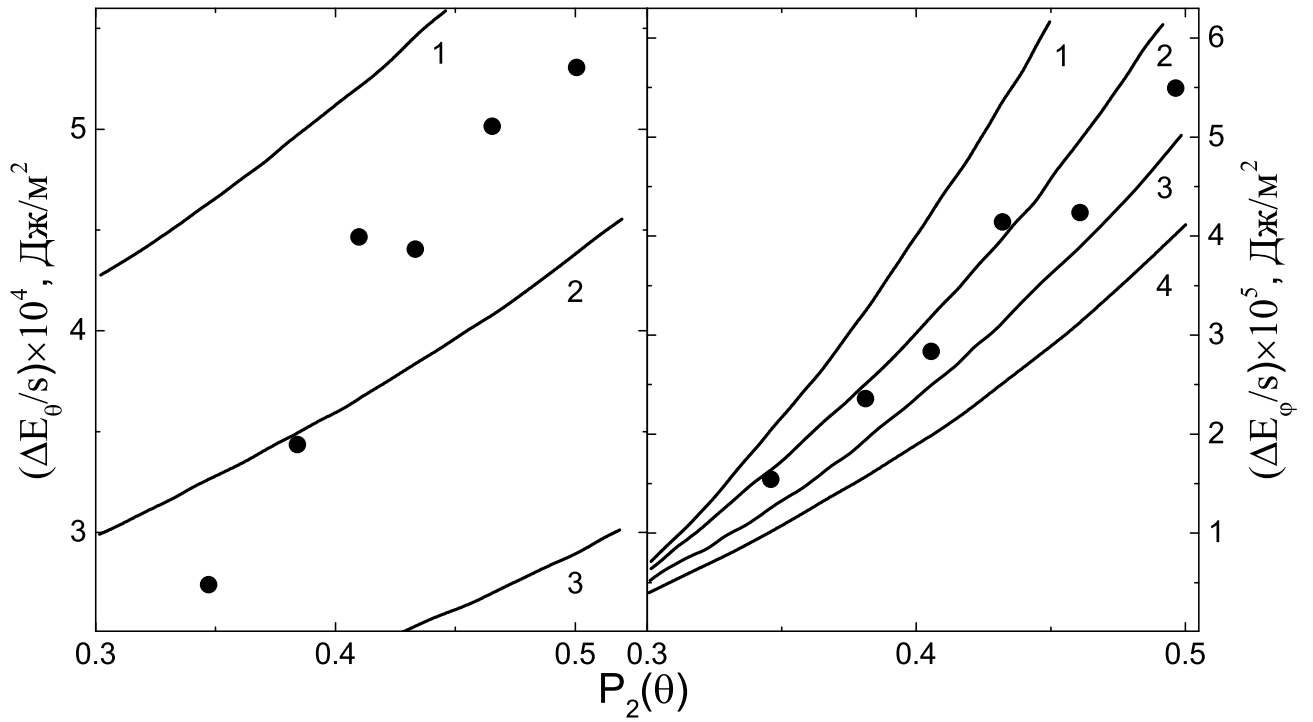


Рис. 4. Полярная и азимутальная энергии сцепления в зависимости от параметра порядка $P_2(\theta)$. 1 – $N = 20$; 2 – $N = 30$; 3 – $N = 40$; 4 – $N = 50$; где N – количество атомов углерода в модельной молекуле, точки – экспериментальные данные

На рисунке 3 представлена зависимость энергии межмолекулярного взаимодействия мезогенов (2) от угла между ними, при различных значениях параметрах порядка. Угол α связан с углами θ и φ через формулы преобразования Эйлера.

По представленной модели рассчитана энергия сцепления молекул верхнего слоя с нижним слоем на единицу площади s . Зависимость полярной

$$E_{\theta}(P_2(\theta)) = \frac{E_{\theta=90^{\circ}, \varphi=0^{\circ}} - E_{\theta=0^{\circ}, \varphi=0^{\circ}}}{s}$$

и азимутальной

$$E_{\varphi}(P_2(\theta)) = \frac{E_{\theta=90^{\circ}, \varphi=90^{\circ}} - E_{\theta=0^{\circ}, \varphi=0^{\circ}}}{s}$$

энергии сцепления молекулы мезогена с подложкой от параметра порядка $P_2(\theta)$ представлена на рисунке 4.

Рассчитанные значения полярной энергии сцепления составляют $3 - 5 \cdot 10^{-4}$ Дж \cdot м $^{-2}$, а азимутальной $1 - 5 \cdot 10^{-5}$ Дж \cdot м $^{-2}$. Таким образом, в работе получена зависимость полярной и азимутальной энергии сцепления от параметра порядка и объяснено их различие на порядок величины. Установлена зависимость энергии сцепления от длины углеводородной цепи: чем больше параметр порядка, тем сильнее зависимость. Показано, что с увеличением параметра порядка значения полярной и азимутальной энергии сцепления увеличиваются.

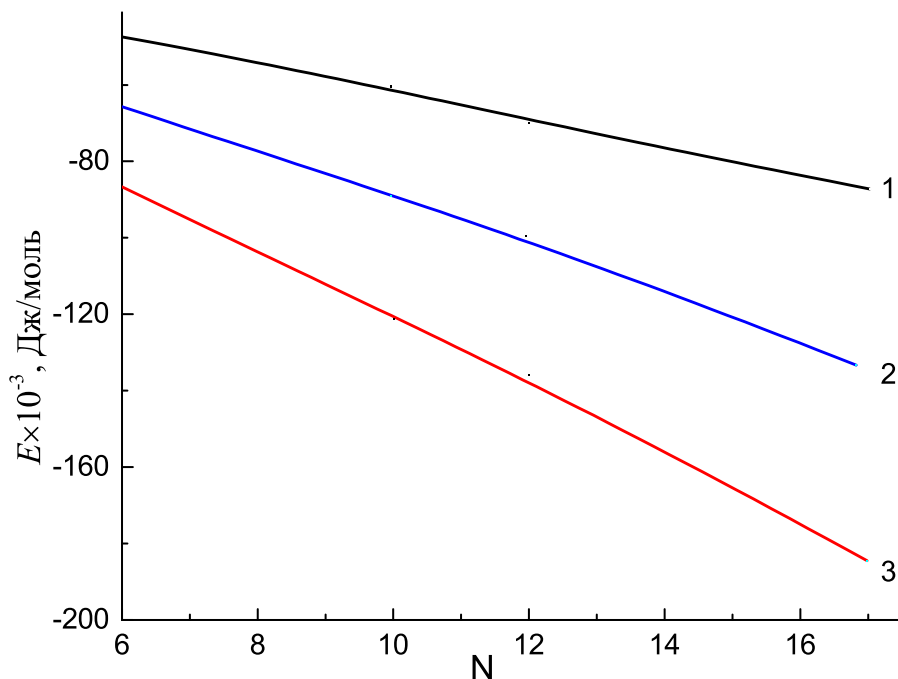


Рис. 5. Энергия взаимодействия углеводородов с структурированными поверхностями: 1 – олигодиметилсилоксана, 2 – полиэтилена, 3 – графита в зависимости от длины цепи (N – число атомов в молекуле алканов)

Раздел 2.2 посвящён исследованию ориентации алифатических углеводородов на кристаллических поверхностях графита и олигодиметилсилоксана. При помощи вычислительных экспериментов с использованием потенциала Леннарда–Джонса установлены зависимости энергии взаимодействия молекул углеводородов гексана (C_6H_{14}), декана ($C_{10}H_{22}$), додекана ($C_{12}H_{26}$), гептадекана ($C_{17}H_{34}$). Построение молекул проводилась с помощью пакета программ физико–химического моделирования GROMACS.

Анализ результатов показал, что энергия межмолекулярного взаимодействия алканов на поверхности кристалла олигодиметилсилоксана существенно зависит от трех углов ориентации θ , φ , ψ . При этом можно отметить, что с увеличением числа атомов углерода в молекулярной цепи энергия взаимодействия увеличивается по абсолютной величине. Зависимость минимума энергии взаимодействия между молекулами алканов и поверхностью олигодиметилсилоксана от длины цепи представлена на рисунке 5.

Пользуясь функцией распределения Больцмана и зная величину энергии взаимодействия E , были определены вероятности ориентаций при различных значениях углов θ , φ , ψ .

В **разделе 2.3** сделаны оценки энергии взаимодействия молекул азо–красителей CD–1, SD–1, дифенила и производных алкилдифенила которые являются составными частями молекул мезогенов, с поверхностью кристаллов графита, олигодиметилсилоксана и углеродной нанотрубки.

Структура олигодиметилсилоксана образует зигзагообразную цепь атомов

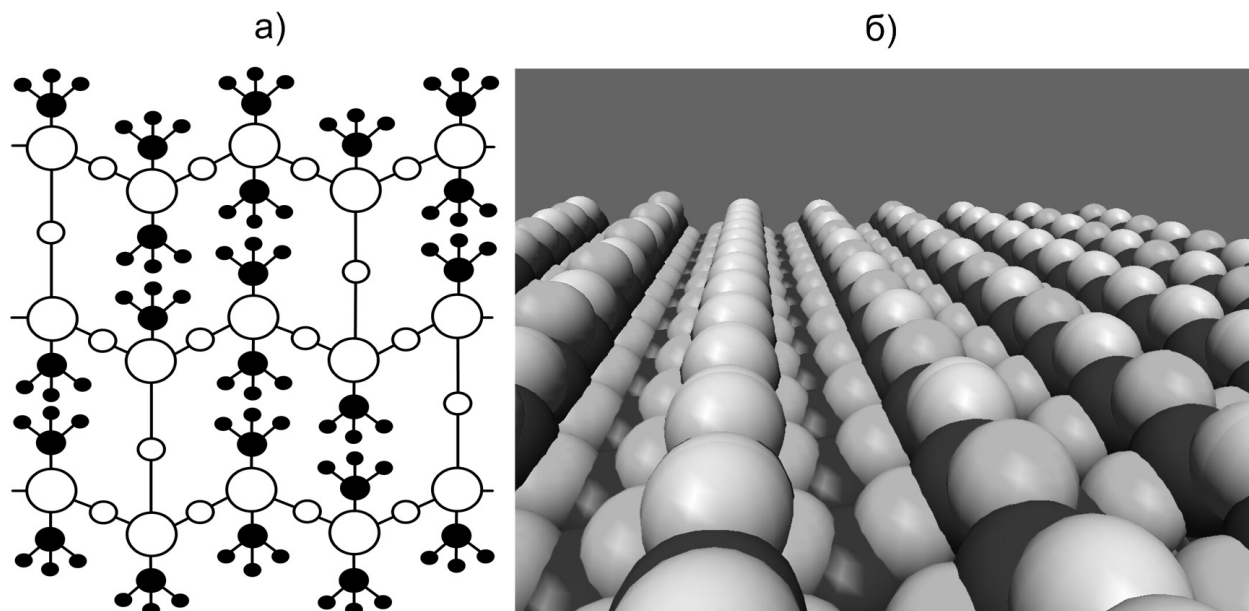


Рис. 6. Структура пространственных молекул : (а) \bigcirc – (Si) кремний, \circ – (O) кислород, \bullet – (C) углерод; (б) 3D модель поверхности олигодиметилсилоксана

кремния и кислорода. Расстояние между атомами Si–O в цепи равно 1.63 Å, расстояние Si–C – 1.88 Å. Величина валентного угла Si–O–Si составляет 168° , угла O–Si–O – 109.5° (рисунок 6).

Таблица 1. Энергия взаимодействия молекул с кристаллическими поверхностями

Система	$E_{min},$ кДж/моль	θ_0	φ_0	ψ_0	$E_{max},$ кДж/моль
Дифенил - Графит	-136.9	0	50	0	-40.6
CD-1 - Графит	-274.94	10	50	0	-56.7
CD-1 - Олигодиметилсилоксан	-191.31	10	10	30	-27.75
SD-1 - Графит	-216.59	0	10	30	-43.11
SD-1 - Олигодиметилсилоксан	-167.25	10	10	30	-23.24
$C_{22}H_{25}N_1O_3$ - Графит	-223.96	0	50	0	-18.8
$C_{22}H_{25}N_1O_3$ - Олигодиметилсилоксан	-159.63	0	10	0	-15.1
8CB - Графит	-215.5	0	50	0	-25.2
8CB - Графит	-235				-5
Данные работ Клаудио Заннони [3]					

В таблице 1 приведены значения энергии взаимодействия, характеризуемые углами θ, φ, ψ для исследованных систем.

Из таблицы видно, что значения энергии взаимодействия молекул дифенила с единицей площади поверхности графита при гомеотропной и планарной ориентации близки, и характер ориентации молекул мезогенов относительно

поверхности графита может определяться природой заместителей.

Проведены исследования ориентации молекул мезогенов на поверхности углеродных нанотрубок. Установлено, что молекуле дифенила, инкапсулированной в углеродную нанотрубку, энергетически выгодно плотно прилегать к стенкам нанотрубки при диаметрах углеродных нанотрубок значительно больших размеров дифенила.

В разделе 2.4 разработана теория, объясняющая зависимость характера ориентации жидких кристаллов в микропорах от энергии сцепления ЖК с подложкой и диаметра микропор. Определено, что число микросостояний при планарной ориентации

$$W_{pl} = \frac{(\nu_{pl} \cdot \nu_{pl}^0)!}{(\nu_{pl} \cdot \nu_{pl}^0 - N)!N!},$$

при гомеотропной ориентации

$$W_{hom} = \frac{(\nu_{hom} \cdot \nu_{hom}^0)!}{(\nu_{hom} \cdot \nu_{hom}^0 - N)!N!},$$

где $N = N_A/n$ – число кластеров в моле, n – число молекул мезогенов в кластере, ν_{pl} – число микропор на один моль при планарной ориентации, N_A – число Авогадро, ν_{hom} – число ориентационных состояний в микропоре при планарной ориентации, ν_{pl}^0 – число микропор на один моль при гомеотропной ориентации, ν_{hom}^0 – число ориентационных состояний в микропоре при гомеотропной ориентации.

Разность значений молярной энтропии при планарной и гомеотропной ориентации равна

$$\Delta S = S_{pl} - S_{hom} = k \ln \frac{(\nu_{pl} \cdot \nu_{pl}^0)! (\nu_{hom} \cdot \nu_{hom}^0 - N)!}{(\nu_{hom} \cdot \nu_{hom}^0)! (\nu_{pl} \cdot \nu_{pl}^0 - N)!}.$$

Показано, что $\frac{N}{\nu_{pl} \cdot \nu_{pl}^0} \ll 1$, $\frac{N}{\nu_{hom} \cdot \nu_{hom}^0} \approx 1$ и $\frac{\nu_{pl}}{\nu_{hom}} \approx 1$, поэтому

$$\Delta S \approx kN \ln \frac{\nu_{pl}^0}{\nu_{hom}^0}.$$

Тогда

$$\frac{T\Delta S}{A} = \frac{kN \ln \frac{\nu_{pl}^0}{\nu_{hom}^0}}{NA_0} = \frac{k \ln \frac{\nu_{pl}^0}{\nu_{hom}^0}}{A_0},$$

где A_0 и A – величины площади сечения полусфер, приходящихся на один кластер и N кластеров, соответственно.

При значениях диаметра кластеров, исследованных в работе, часть разности свободной энергии сцепления, обусловленной разностью ориентационных энтропий при планарной и гомеотропной ориентации, имеет порядок $10^{-6} \div 10^{-5}$

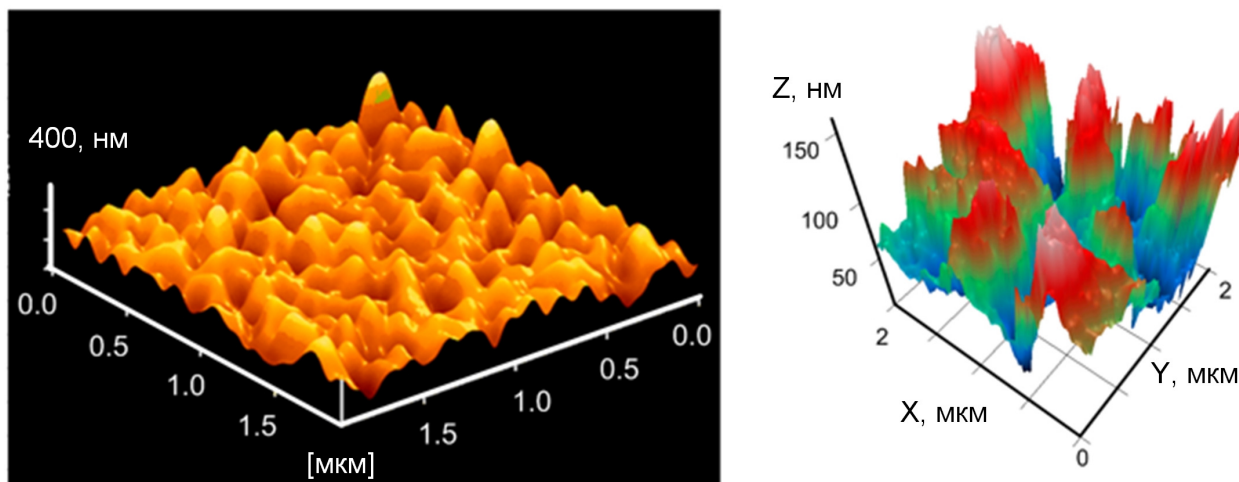


Рис. 7. Изображения поверхности пористой структуры SiO_2 , полученные методами (а) атомно–силовой микроскопии и (б) модуляционно–интерференционный микроскопии

$\text{Дж}/\text{м}^2$, что находится в хорошем согласии с малыми значениями свободной энергии сцепления.

Таким образом показано, что характер ориентации определяется образованием кластеров ЖК и их размерами. Выполнена оценка величины кластеров нематических жидких кристаллов в пористых системах. Найден вклад в разность значений свободной энергии Гиббса, обусловленный разностью значений энтропии системы при планарной и гомеотропной ориентации. Установлено, что ориентация ЖК относительно нанопор обусловлена разностью значений энтропии при планарной и гомеотропной ориентации.

В разделе 2.5 описан способ получения ориентированного слоя жидкого кристалла, заключающийся в нанесении на поверхность пористой подложки из SiO_2 рисунок 7, слоя жидкого кристалла. Способ характеризуется тем, что перед нанесением слоя жидкого кристалла пористую структуру модифицируют. Для этого наносят на его поверхность жидкий изотропный раствор дихроичного вещества с образованием на поверхности и в объеме пористой структуры слоя твердотельного дихроичного вещества.

Затем пористая структура облучается пучком света, поглощаемым дихроичным веществом. При этом обеспечивается заданное ориентационное упорядочение анизотропных молекул в мономолекулярном слое дихроичного вещества. В конце процесса наносят жидкокристаллический материал.

Использование разработанного способа позволяет получить ориентированный слой жидкого кристалла с заданным направлением ориентации жидкого кристалла, в том числе, с обеспечением однородной планарной ориентации с заданным направлением.

В ТРЕТЬЕЙ ГЛАВЕ проведены теоретические и экспериментальные исследования диэлектрической спектроскопии нематических и холестерических

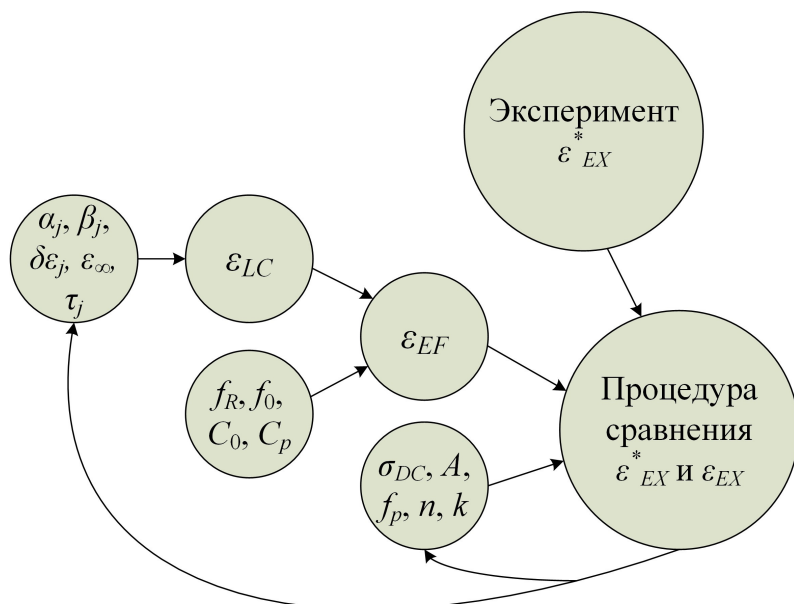


Рис. 8. Схема расчёта молекулярных параметров ЖК и численной компенсации собственной индуктивности, сопротивления потерь системы и ионных примесей

жидких кристаллов, в том числе с наноразмерными включениями, и определены параметры молекулярной релаксации таких жидкокристаллических систем.

В разделе 3.1 рассмотрена методика измерения диэлектрических свойств жидких кристаллов емкостным методом в диапазоне частот от 20 Гц до 120 МГц. Численные методы оптимизации позволяют найти подходящие значения молекулярных параметров исследуемого ЖК, а также параметров характеризующих ионные примеси, для наилучшего соответствия с реальными экспериментальными данными. Общий алгоритм численной компенсации представлен на рисунке 8.

Проведена оценка погрешности измерений компонент диэлектрической проницаемости на примере прецизионного анализатора импеданса WK 6500 P.

Раздел 3.2 посвящен анализу выбранных жидкокристаллических смесей, в том числе с наноразмерными включениями. Описана их структура и физические характеристики.

В разделе 3.3 с использованием диэлектрической спектроскопии и сравнением с результатами акустической спектроскопии и вискозиметрии ЖК установлено влияние диполь–дипольных корреляций молекул на время релаксации, коэффициенты молекулярного трения, вращательной диффузии молекул и т.д. Проведен анализ современных методик определения коэффициента молекулярного трения и вращательной диффузии для смесей ЖК разного состава таблица 2.

На основании проведенных данных по значениям коэффициентов молекулярного трения из таблицы 2 выполнена оценка количества молекул в кластере

Таблица 2. Сравнение коэффициентов молекулярного трения и вращательной диффузии при $T = 297K$ для разных моделей

Показатель	Значения, полученные из работ			
	Согласно модели Ратна [4]	Согласно модели Немцова и метода Энскога [5]	Согласно модели Немцова [6]	Согласно модели Бата и Бука [7]
ЖК–1282				
$\zeta \cdot 10^{27}$, кг·м ² /с	0.734	0.107	0.00057	1.97
$D \cdot 10^6$, с ⁻¹	5.59	38.35	7190	2.08
ЖК–1289				
$\zeta \cdot 10^{27}$, кг·м ² /с	0.76	0.113	0.00062	1.87
$D \cdot 10^6$, с ⁻¹	6.01	34.48	6960	1.88
ЖК–614				
$\zeta \cdot 10^{27}$, кг·м ² /с	0.78	0.112	0.00052	1.94
$D \cdot 10^6$, с ⁻¹	5.91	36.24	7040	1.64
ЖК–1630А				
$\zeta \cdot 10^{27}$, кг·м ² /с	0.68	0.12	0.00048	2.34
$D \cdot 10^6$, с ⁻¹	6.09	34.27	6080	1.74

– 17.

В разделе 3.4 проведены исследования квантовых точек (КТ) методом фемтосекундной лазерной спектроскопии. Показано, что для КТ CdSe наблюдается два типа люминесценции: ярко выраженный пик люминесценции с более коротким временем жизни и широкий пик низкой интенсивности, соответствующий люминесценции поверхностных дефектов на более длинных волнах. Было исследовано влияние концентрации КТ на люминесцентные свойства композита ЖК–CdSe/CdS (рис. 9 б). Наблюдается гипсохромный сдвиг основного пика ЖК при 529 нм в композитах и уменьшение интенсивности основного пика ЖК на 91% при концентрации КТ 0.2% масс. и 85% для концентрации КТ 0.4% масс. Такой эффект может быть связан с безызлучательным переносом энергии возбуждения от ЖК к КТ. В композите ЖК–CdSe/CdS/ZnS (рис. 9 а) при 529 нм происходит более интенсивное снижение люминесценции ЖК до 95%. При этом интенсивность пика квантовых точек CdSe/CdS/ZnS в композите ниже. Он значительно шире по сравнению с CdSe/CdS.

Проведены исследования температурной зависимости действительной ε' и мнимой ε'' частей комплекснозначного тензора диэлектрической проницаемо-

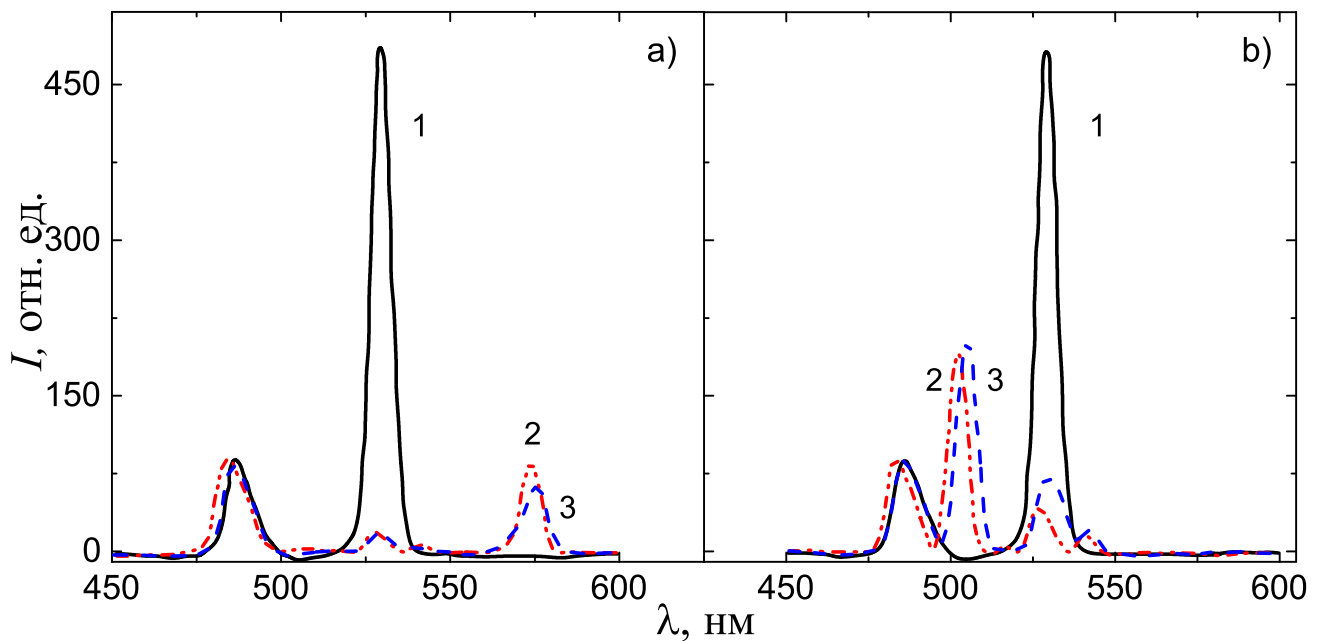


Рис. 9. Спектры люминесценции композитов ЖК-1282 – (а) с квантовыми точками CdSe/CdS/ZnS при $\lambda_{\text{возб}}=529$ нм, (б) с квантовыми точками CdSe/CdS при $\lambda_{\text{возб}}=370$ нм; при концентрациях квантовых точек 1 – $C_{\text{КТ}}=0.0\%$, 2 – $C_{\text{КТ}}=0.2\%$, 3 – $C_{\text{КТ}}=0.4\%$.

сти композитов ЖК с квантовыми точками. Установлено, что при добавлении квантовых точек CdSe в исследуемый образец с концентрацией 0.05% массовой доли наблюдается возрастание значений как продольной, так и поперечной компонент диэлектрической проницаемости. Происходит небольшое смещение переходных частот в область более высоких частот. Однако несмотря на рост компонент диэлектрической проницаемости системы, наблюдается снижение её анизотропии. Установлено влияние КТ на время релаксации, коэффициенты молекулярного трения, вращательную диффузию молекул ЖК.

В разделе 3.5 проведён анализ температурных и частотных зависимостей главных значений диэлектрической проницаемости тридецилата холестерина (ХЖК Х-20) и его взвесей с наноразмерными фрагментами шунгитового углерода и графена с массовыми концентрациями 0.005% масс. и 0.02% масс. рисунок 10. Состояния ориентации ЖК на поверхности наноразмерных фрагментов описываются моделью приведенной в разделе 2.3.

Определены параметры молекулярных движений, определяющих релаксационный процесс и влияющих на макроскопические свойства ЖК разного состава с включениями наночастиц. Установлено, что начиная с определённой пороговой концентрации шунгита (0.02% масс.) возникает дисперсия действительной части диэлектрической проницаемости, описываемой моделью Коул-Коула с учётом распределения времён релаксации. Появление дисперсии диэлектрической проницаемости с добавлением наночастиц шунгитового углерода

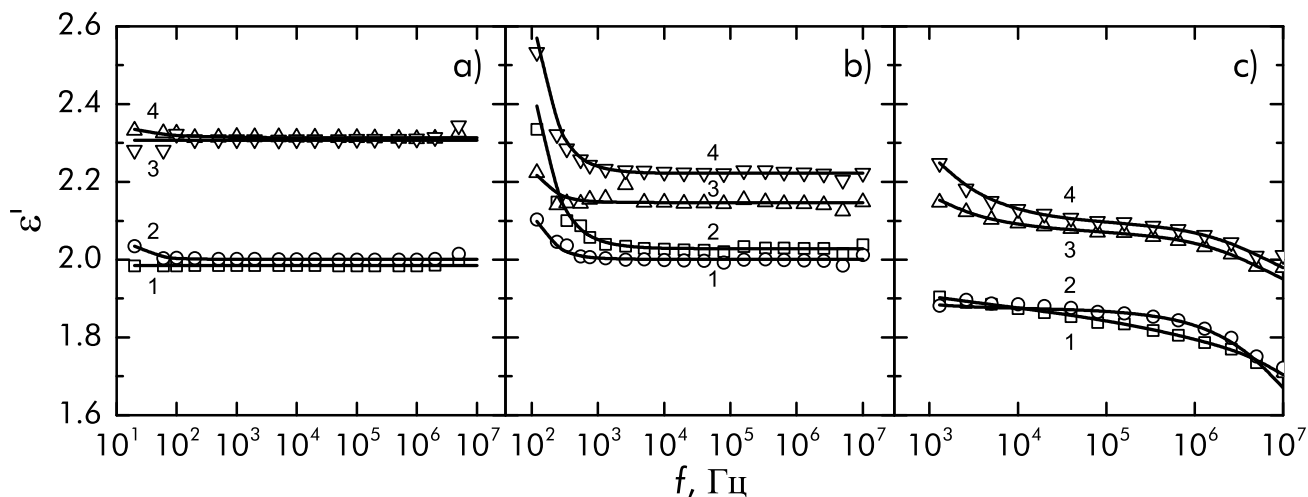


Рис. 10. Частотная зависимость действительной части диэлектрической проницаемости (а) X-20; (б) X-20 с шунгитом ($5 \cdot 10^{-5}$ масс.); (с) X-20 с шунгитом ($2 \cdot 10^{-4}$ масс.): 1 – Cr, 2 – SmA, 3 – N*, 4 – Iso

да связано с замедлением вращения молекул.

ЧЕТВЕРТАЯ ГЛАВА посвящена влиянию ближнего ориентационного порядка и гидрофобных взаимодействий на термодинамические свойства в растворах полимеров и жидких кристаллов.

В **разделе 4.1** сформулированы представления о влиянии ближнего ориентационного порядка на термодинамические свойства растворов полимеров. Определен вклад ближнего ориентационного порядка в термодинамические функции.

На примере экспериментальных данных системы ПВС – вода показано существование двух нижних критических температур растворения (НКТР) в области температур близких к критической температуре воды, ориентационный порядок в чистом растворителе отсутствует, в то время как в растворе он существует – парциальная энтропия смешения отрицательная. При понижении температуры степень ориентационной упорядоченности растет как в растворе, так и в растворителе, причем в растворителе растет быстрее. Парциальная энтропия смешения становится положительной и соответствует верхней критической температуре растворения (ВКТР). С дальнейшим понижением температуры степень ориентационной упорядоченности в растворе растет быстрее, чем в растворителе, что приводит к появлению второй НКТР.

Тем самым установлено, что для систем с ВКТР при понижении температуры ориентационный порядок в растворе может оказаться совершеннее, чем в компонентах, и при достаточно низкой температуре система будет иметь НКТР, и если НКТР будет выше ВКТР, то система может иметь две НКТР и две ВКТР.

В **разделе 4.2** была рассчитана энергия взаимодействия между молекулами воды – ароматическими и алифатическими углеводородами для оценки корре-

ляции ориентаций молекул компонентов в водных растворах в зависимости от их взаимной ориентации с использованием методологии, описанной в разделах 2.1 и 2.2. Вычисления проводили методом атом–атом потенциалов.

Показано, что вероятности разных состояний сильно различаются, причем вероятность реализации некоторых состояний более чем в три раза превышает вероятность реализации остальных, в то время как при критических температурах воды и бензола ближний ориентационный порядок разрушен полностью. Еще более выраженной оказывается эта зависимость для водных растворов линейных углеводородов, в частности, для декана вероятности различаются более чем на порядок.

При этом сравнение с экспериментальными данными показывает, что каждая молекула углеводорода оказывается связанной с 12 – 16 молекулами воды ($N_{св}$), что приблизительно равно числу молекул, заполняющих первый монослой вокруг молекулы углеводорода.

В разделе 4.3 на основе полученных значений химического потенциала с учетом ближнего ориентационного порядка вблизи температуры Флори и Роулинсона получены соотношения для бинодалей и спинодалей растворов. Полученные выражения находятся в хорошем совпадении с экспериментальными данными для различных систем.

Раздел 4.4 содержит исследования влияния ближнего ориентационного порядка на осмотические процессы. Показано, что представленные расчеты наиболее полно описывают поведение раствора при понижении и повышении температуры, а связь второго вириального коэффициента и коэффициента набухания показывает общую природу этих величин при растворении. Сравнения второго вириального коэффициента с экспериментальными исследованиями показали хорошее согласие.

В разделе 4.5 приведены экспериментальные исследования термодинамических характеристик жидких кристаллов на основе алкилцианобифенилов, цианофенилпиридинов, холестерического ЖК и их композитов с наноразмерными фрагментами шунгитового углерода и графена, методом дифференциальной сканирующей калориметрии. Определены фазовые переходы, проведен расчёт удельной теплоёмкости этих систем.

В ПЯТОЙ ГЛАВЕ представлены результаты исследования кристаллических и аморфных слоев органических красителей под действием поляризованных и неполяризованных пучков света. Пленки слоев красителей получены методами кристаллизации из расплава или раствора в полимере. В последнем случае учитывалась концепция ближнего ориентационного порядка, описанная в разделах 4.1 и 4.2. Исследована динамика оптических свойств вещества с учетом проникновения световой волны от поверхности в объем вещества. Кроме того, изучена структура неоднородности объема вещества в различных направлениях по отношению к направлению распространения пучка света. Это при-

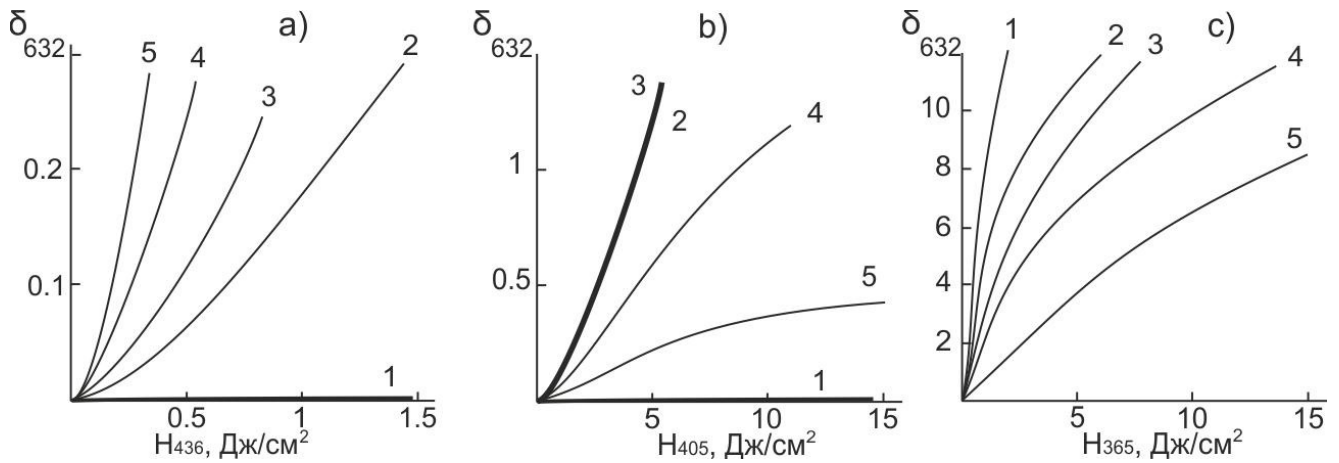


Рис. 11. Начальные участки кинетики фотоиндуцированной фазовой задержки δ_{632} в слое поли(винил-4-метокси-циннамата) с примесью нафтотиазолина при концентрациях 1–0%; 2–0.5%; 3–1.0%; 4–2.0%; 5–4.0% как функции энергии H_{exp} с излучением λ_{exp} – (а) 436 нм, (б) 405 нм и (с) 365 нм.

водит к неравномерности интенсивности и, соответственно, изменению фотоиндуцированного показателя преломления внутри объема образца (картинные эффекты).

В разделе 5.1 приведена методика исследования оптически анизотропных слоев. Описана схема экспериментальной установки и методы измерения таких слоев.

В разделе 5.2 приведены исследования наведенной фотоиндуцированной оптической анизотропии (ФИА) в слоях полимеров с азо-красителем. Предложен механизм безызлучательной колебательной релаксации энергии поглощенного фотохимически неактивного кванта излучения, которая происходит при взаимной упорядоченности ближайших молекул сенсibilизатора и циннаматных пар.

Как следует из данных, приведенных на рис. 11 эффективность спектральной сенсibilизации ФИА в слоях поли(винил-циннаматов) в значительной степени определяется как длиной волны активирующего излучения λ_{exp} , так и концентрацией сенсibilизатора в слое. Установлено, что в результате безызлучательной колебательной релаксации энергии поглощенного фотохимически неактивного кванта излучения с определенной вероятностью происходит трансляционная подвижность и угловая ориентационная перестройка ближайших молекул сенсibilизатора и циннаматных пар. Увеличение квантового выхода объясняется переносом энергии поглощенного кванта света от сенсibilизатора на циннаматный фрагмент одной из молекул поли(винил-циннамата) и бимолекулярной фототопохимической реакции циклизации молекул поли(винил-циннамата) в целом. Установлено, что наведенная в сенсibilизированных аморфных слоях поли(винил-циннамата) анизотропия, как и в слоях несенсibilизированного поли(винил-циннамата), термически неустойчива и исчезает при

нагреве.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ.

Заключение обобщает результаты исследования диссертационной работы:

1. Теоретически рассчитаны значения энергии взаимодействия молекул ЖК между собой и с поверхностью кристалла. Результаты подтверждаются сравнением с опубликованными экспериментальными данными. Предложена атом - атомная модель межмолекулярного взаимодействия молекул мезогенов с учетом всех возможных ориентационных состояний. На ее основе получена аналитическая зависимость полярной и азимутальной энергии сцепления от параметра порядка и описано их различие по порядку величины. При помощи компьютерного моделирования установлены зависимости энергии взаимодействия молекул углеводородов и мезогенов с поверхностью. Рассчитаны вероятности ориентационных состояний от углов, характеризующих ориентацию молекул относительно поверхности кристаллов графита, углеродных нанотрубок и олигодиметилсилоксана. Показано, что частный случай предложенного потенциала (эмпирический потенциал Рапини–Популара) для полярной энергии сцепления находится в хорошем соответствии с найденными аналитическими закономерностями и является их частным случаем.
2. Впервые разработана статистическая модель ориентации ЖК в микро- и нанопорах различного размера при разных величинах поверхностной энергии. Установлено, что ориентация мезогена в микропоре обусловлена разностью значений энтропии при планарной и гомеотропной ориентации. Показано, что характер ориентации определяется образованием кластеров ЖК и их размерами. Установлено, что размер кластеров в нематических жидких кристаллах находится в диапазоне от 65–85 до 200–250 нм.
3. На основе разработанной модели реализован новый способ получения гомогенной ориентации ЖК с использованием пористой структуры анодированного алюминия, поверхность которого покрыта пленкой фотоанизотропного материала, что под действием облучения поляризованного света обеспечивает получение однородной планарной ориентации с заданным направлением как по всей подложке, так и с заданным двумерным распределением направлений планарной ориентации по подложке.
4. Методами диэлектрической спектроскопии установлено влияние диполь - дипольных корреляций молекул на время релаксации, коэффициенты молекулярного трения, вращательной диффузии молекул. Установлено, что среднее количество молекул в кластере составляет 17.
5. Получены дисперсии высоколюминесцентных полупроводниковых квантовых точек (КТ) «ядро/оболочка» CdSe/CdS, CdSe/CdS/ZnS в нематиче-

ском жидком кристалле ЖК–1282 и изучены их физические свойства. Методами диэлектрической и фемтосекундной лазерной спектроскопии установлено влияние концентрации КТ и наращивания дополнительной оболочки ZnS на люминесцентные, диэлектрические характеристики композитов ЖК–1282 с КТ. Для всех вариаций образцов, ориентирующих веществ и подложек рассчитаны значения равновесного угла смачивания и работы адгезии. Увеличение концентрации КТ в ЖК приводит к снижению частоты релаксации и энергии активации.

6. Определены параметры молекулярных движений, определяющих релаксационный процесс, влияющих на макроскопические свойства ХЖК разного состава с включениями наночастиц. Установлено, что начиная с определённой пороговой концентрации шунгита (0.02% масс.) возникает дисперсия действительной части диэлектрической проницаемости. Появление дисперсии диэлектрической проницаемости с добавлением наночастиц шунгитового углерода связано с замедлением вращения молекул.
7. Построена теория влияния ближнего ориентационного порядка на термодинамические свойства растворов полимеров. Показано существование систем с двумя верхними и двумя нижними температурами растворения. Теоретически установлено влияние ближнего ориентационного порядка и гидрофобных взаимодействий на фазовые переходы в растворах полимеров. Получено хорошее согласие с экспериментальными данными. Показано существование бинарных систем с более чем одной верхней и нижней критическими температурами растворения.
8. Показано, что учет ближнего ориентационного порядка объясняет связывание молекул углеводов с 12–16 молекулами воды и приводит к замене поступательных и вращательных степеней свободы колебательными.
9. Впервые получена фотоиндуцированная оптическая анизотропия в слоях материала, состоящего из поли(винилциннамата) и азо-красителя, где каждый из реагирующих компонентов индивидуально не проявляет эффекта ФИА. Предложен механизм безызлучательной колебательной релаксации энергии поглощенного фотохимически неактивного кванта излучения, которая происходит при взаимной упорядоченности ближайших молекул сенсibilизатора и циннаматных пар. Установлено, что в результате безызлучательной колебательной релаксации энергии поглощенного фотохимически неактивного кванта излучения происходит трансляционная подвижка и угловая ориентационная перестройка ближайших молекул сенсibilизатора и циннаматных пар. Получено увеличение квантового выхода, которое объясняется переносом энергии поглощенного кванта света от сенсibilизатора на циннаматный фрагмент одной из молекул

PVC_i и бимолекулярной фототопохимической реакцией циклизации молекул PVC_i в целом.

Список цитируемой литературы

- [1] *Rapini, A.* // Distorsion d'une lamelle nematique sous champ magnetique conditions d'ancrage aux parois / A. Rapini, M. Papoular // *J. Phys. Colloques.* — 1969.— Vol. 30.— Pp. 54–56.
- [2] *Блинов, Л. М.* // Определение анизотропной части поверхностного термодинамического потенциала нематического жидкого кристалла /Л. М. Блинов, Д. З. Раджабов, и др. // *Письма ЖЭТФ.* — 1991. — Т. 53, № 4. — С. 223–227.
- [3] *Palermo, V.* Abrupt orientational changes for liquid crystals adsorbed on a graphite surface / V. Palermo, F. Biscarini, C. Zannoni // *Physical Review E.* — 1998.— Vol. 57, №. 3. — Pp. R2519–R2522
- [4] *Frohlich, H.* Theory of Dielectrics. Dielectric Constant and Dielectric Lossy / H. Frohlich. — Oxford: Clarendon Press, 1949. — 188 pp.
- [5] *Немцов, В. Б.* Молекулярно–статистические вычисления коэффициентов вязкости НЖК / В. Б. Немцов // *Теоретическая и прикладная механика.* — 1985.— Т. 12.— С. 111–114.
- [6] *Немцов, В. Б.* В сб.: Теплофизика конденсированных сред: структура и свойства / В. Б. Немцов. — Минск: Институт тепло– и массообмена, 1990. — С. 38.
- [7] *Bata, L.* Dielectric permittivity and relaxation phenomena in smectic phases / L. Bata, A. Buka // *Molecular Crystals & Liquid Crystals.* — 1981.— Vol. 63, №. 1. — Pp. 307–320.

Основные результаты диссертации отражены в работах автора:

Статьи в журналах, индексируемые как в международных базах WoS, Scopus, так и включенных в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора наук

1. D.N. Chausov, A.D. Kurilov, V.V. Belyaev, S. Kumar Parameters of LC molecules' movement measured by dielectric spectroscopy in wide temperature range // *Opto–Electronics Review* 2018. V.26. Issue. 1, P.44–49. WOS:000427680200007

2. V.V. Belyaev, A.S. Solomatin, D.N. Chausov Phase retardation vs. pretilt angle in liquid crystal cells with homogeneous and inhomogeneous LC director

configuration // Optics Express, 2013. V. 21. Issue 4, P.4244–4249. WOS:000315992600031

3. V.V. Belyaev, A.S. Solomatin, D.N. Chausov Measurement of the liquid crystal pretilt angle in cells with homogeneous and inhomogeneous liquid crystal director configuration // Applied Optics, 2013. V. 52 Issue 13, P.3012–3019. WOS:000318421900008

4. V.V. Belyaev, A.S. Solomatin, D.N. Chausov, et al. Optical properties of hybrid aligned nematic cells with different pretilt angles // Applied Optics, 2014. V.53. Issue 29, P.H51–H57. WOS:000343160200009

5. V.V. Belyaev, A.S. Solomatin, D.N. Chausov Phase Retardation Difference of Liquid Crystal Cells with Symmetric and Asymmetric Boundary Conditions // Molecular Crystals & Liquid Crystals, Philadelphia, USA, 2014. V.596. Issue 1, P.22–29. WOS:000342559300004

6. D.N. Chausov, A.K. Dadivanyan, O.V. Noah, and V.V. Belyaev Dependence of Mesogen Molecules Interaction Energy on their Mutual Orientation // Molecular Crystals & Liquid Crystals, Philadelphia, USA, 2015. V.611. P.21–26. WOS:000357414600003

7. A.K. Dadivanyan, V.V. Belyaev, D.N. Chausov, et al. Nanomesh Aluminum Films for LC Alignment: Theoretical and Experimental Modeling // Molecular Crystals & Liquid Crystals, Philadelphia, USA, 2015. V.611. P.117–122. WOS:000357414600014

8. A.K. Dadivanyan, Y.M. Pashinina, D.N. Chausov, et al. Mesogen Molecules Orientation on Crystal Surfaces // Molecular Crystals & Liquid Crystals, Philadelphia, USA, 2011. V.545. P.159/[1383]–167/[1391]. WOS:000298538700018

9. A.K. Dadivanyan, O.V. Noah, D.N. Chausov, et al. Anchoring energy of liquid crystals // Molecular Crystals & Liquid Crystals, Philadelphia, USA, 2012. V.560. Issue 1, P.108–114. WOS:000304278300013

10. V.V. Belyaev, A.S. Solomatin, D.N. Chausov, et al. Optical properties of composite heterophase objects with liquid crystal material for different display applications // Journal of the Society for Information Display 2017. V.25. P.561–567. WOS:000418201800004

11. V.V. Belyaev, D.N. Chausov, A. D. Kurilov et al. Dielectric Properties of Liquid Crystals for Display and Sensor Applications // Journal of the Society for Information Display, 2015. V. 23. P.403–409. WOS:000368081300003

12. А.К. Дадиванян, Д.Н. Чаусов, О.В. Ноа, В.В. Беляев, В.Г. Чигринов, Ю.М. Пашинина, Влияние параметра порядка на энергию сцепления жидких кристаллов // ЖЭТФ, 2012. Т.142. Вып.6(12). с.1253–1257. WOS:000313068000020

13. А.К. Дадиванян, Д.Н. Чаусов, В.В. Беляев, Влияние энтропии на ориентацию жидких кристаллов относительно поверхности нанопор // Доклады Академии Наук, 2014. Т. 458. № 6. с.644–646. WOS:000344756300006

14. В.М. Козенков, А.А. Спахов, Д.Н. Чаусов, и др. Спектральная фото-

сенсбилизация оптической анизотропии в твердотельных пленках поли (винилциннамата) // Журнал технической физики, 2018. Т.88. Вып. 4. с.592–596. WOS:000431062900017

15. Д.Н. Чаусов Диэлектрическая релаксация в жидкокристаллической смеси на основе цианофенилпиридинов // Жидкие кристаллы и их практическое использование. 2018. Т.18. №3. с.45–52. WOS:000445959600005

16. А.В. Казак, Л.Н. Жукова, М.И. Ковалева, Д.Н. Чаусов, Самоорганизация азокрасителя КД–2 в плавающих слоях и пленках Ленгмюра–Шеффера // Жидкие кристаллы и их практическое использование. 2018. Т. 18. № 3. с.74–81. WOS:000445959600009

17. В.М. Козенков, А.А. Спахов, В.В. Беляев, Д.Н. Чаусов, Обратимая фотоиндуцированная анизотропия азоксибензолов в НЖК фазе и в твердых полимерных растворах // Жидкие кристаллы и их практическое использование. 2016. Т.16. №1. с.29–37. WOS:000383485900005

18. В.М. Козенков, А.А. Спахов, В.В. Беляев, Д.Н. Чаусов, Оптически анизотропные и интерференционные средства защиты: свойства, технологии их изготовления и применения // Жидкие кристаллы и их практическое использование. 2016. Т.16. №4. с.9–21. WOS:000390340900002

19. Д.Н. Чаусов, А.Д. Курилов, М.С. Константинов, В.В. Беляев, Д.Л. Богданов Анизотропия диэлектрической проницаемости смеси ЖК–1282 // Жидкие кристаллы и их практическое использование. 2015. Т.15. №2. с.35–43.

20. Д.Н. Чаусов, В.В. Беляев, О.В. Ноа, и др. Зависимость энергии взаимодействия молекул мезогенов от их взаимной ориентации // Жидкие кристаллы и их практическое использование. 2015. Т.15. №1. с.41–46.

21. А.К. Дадиванян, В.В. Беляев, Д.Н. Чаусов, и др. Ориентация нематических жидких кристаллов относительно нанопористых пленок // Жидкие кристаллы и их практическое использование. 2013. Вып. 4(46). с.81–86.

22. А.К. Дадиванян, Д.Н. Чаусов, Ю.М. Пашинина, В.В. Беляев, Моделирование ориентации молекул жидкокристаллического октилцианбифенила на поверхности кристаллов // Жидкие кристаллы и их практическое использование. 2010. Вып. 4(34). с.61–69.

23. А.К. Дадиванян, Д.Н. Чаусов, Ю.М. Пашинина и др. Ближний ориентационный порядок и гидрофобные взаимодействия в растворах биологических и синтетических полимеров // Вестник СПбГУ. Сер. 4. 2011. Вып. 4. с.124–130.

24. Р.Р. Шамилов, А.А. Нугаева, Д.Н. Чаусов и др. Нанокomпозиты на основе гибридных квантовых точек и PFO // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 23. с.42–44.

25. В.В. Осипова, Д.Н. Чаусов, В.В. Беляев и др. Физико–химические свойства композитов на основе светоизлучающих компонентов // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 17. с.50–52.

26. Д.Н. Чаусов, И.В. Петухов, В.В. Беляев, К.А. Богачев, П.А. Курасов

Программно–аппаратный комплекс оценки эффективности деятельности операторов // Вестник Московского государственного областного университета. Физика–Математика. Издательство МГОУ. 2014. № 2. с.80–86.

27. И.В. Петухов, Д.Н. Чаусов, В.В. Беляев, П.А. Курасов, И.О. Танрывердиев Зрительное утомление человека–оператора в процессе восприятия информации с электронных дисплеев // Вестник Московского государственного областного университета. Физика–Математика. Издательство МГОУ. 2014. № 2. с.87–94.

28. Ан.Ал. Муравский, Ал.Ан. Муравский, Д.Н. Чаусов и др. Жидкокристаллический емкостной датчик температуры // Вестник Московского государственного областного университета. Физика–Математика. Издательство МГОУ. 2014. №1. с.40–47.

29. В.В. Беляев, Д.Н. Чаусов, А.С. Соломатин Оптические свойства ЖК ячеек с произвольным краевым углом наклона директора // Вестник Московского государственного областного университета. Физика–Математика. Издательство МГОУ. 2013. №1. с.32–40.

30. Д.Н. Чаусов, М.В. Светлов, В.В. Беляев, А.К. Дадиванян, Взаимодействие алканов с поверхностью олигодиметилсилоксана // Вестник Московского государственного областного университета. Физика–Математика. Издательство МГОУ. 2012. №2. с.162–169.

31. Д.Н. Чаусов, Н.Н. Смирнов Моделирование поверхности углеродной нанотрубки // Вестник Московского государственного областного университета. Физика–Математика. Издательство МГОУ. 2011. №3. с.97–101.

32. Д.Н. Чаусов, В.В. Иконникова, О.В. Ноа, А.К. Дадиванян Диаграммы состояния в системах с ближним ориентационным порядком // Вестник Московского государственного областного университета. Физика–Математика. Издательство МГОУ. 2010. № 1. с.64–73.

33. Д.Н. Чаусов, Ю.М. Пашинина, А.К. Дадиванян, Ориентация молекул алифатических углеводов на поверхности кристаллов // Вестник Московского государственного областного университета. Физика–Математика. Издательство МГОУ. 2010. №3. с.48–52.

Публикации в других научных изданиях:

34. D.N. Chausov Interaction of dyes CD–1 and SD–1 with the surface of oligodimethylsiloxane // Journal of Physics: Conf. Series 2018. V.996. 012019. WOS:000445819900019

35. A.K. Dadivanyan, D.N. Chausov, V.V. Belyaev, et al. Theory of liquid crystal orientation under action of light wave field and aligning surfaces // Journal of Physics: Conf. Series 2018. V.996. 012018. WOS:000445819900018

36. V.M. Kozenkov, D.N. Chausov, A.A. Spakhov, et al. Spectral photosensitization of optical anisotropy in poly(vinyl cinnamate) solid films // Journal of Physics: Conf. Series 2017. V.867. 012039. WOS:000437785300039

37. V.M. Kozenkov, D.N. Chausov, A.A. Spakhov and V.V. Belyaev Holograms Recording in AZO Nematic Liquid Crystal and in its Solid Polymer Solutions // SID Digest, 2016. V.47. Issue 1, P. 1645–1648.
38. A.K. Dadivanyan, V.V. Belyaev, D.N. Chausov, A.A. Stsiapanau, A.G. Smirnov, A.G. Tsybin, A.D. Kurilov Nanomesh Aluminum Films for LC Alignment Theoretical and Experimental Modeling // SID Digest, 2014. V. 45. Issue 1, P. 1374–1377.
39. V.V. Belyaev, A.S. Solomatin, A.D. Kurilov, D.N. Chausov, V.G. Mazaeva, V.M. Shoshin, Y.P. Bobylev Oblique Light Incidence onto Hybrid Aligned Nematic (HAN) Cells for Optical Compensators // SID Digest, 2014. V.45. Issue 1, P. 1445–1448.
40. V.V. Belyaev, A.S. Solomatin, D.N. Chausov Optical Properties of LC Cells with Hybrid Orientation and Negative Birefringence // SID Digest, 2013. V. 44. Issue 1, P. 1328–1331.
41. V.V. Belyaev, A.S. Solomatin, D.N. Chausov, A.A. Gorbunov, Measurement of the LC Pretilt Angle and Polar Anchoring in Cells with Homogeneous and Inhomogeneous LC Director Configuration and Weak Anchoring on Organosilicon Aligning Films // SID Digest, 2012. P–137. P. 1422–1425.
42. А.Д. Курилов, Д.Н. Чаусов, Анизотропия коэффициента поглощения ультразвука магнитной жидкостью на основе трансформаторного масла // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения, 2015. Т. 15. №1. с.13–16.

Учебные пособия, методики и патенты:

43. Патент №0002612716. Российская Федерация, МПК D01F 9/12 Способ получения волокон из углеродных нанотрубок / Д.Н. Чаусов, В.И. Мащенко, В.В. Беляев, заявитель и правообладатель Москва, Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Московский государственный областной университет 2015120898; заявл. 02.06.2015; опубл. 13.03.2017, Бюл. №8. – 4 с.
44. Патент №0002625121. Российская Федерация, МПК C09K 19/56 Способ получения гомеотропно ориентированного слоя жидкого кристалла жидкокристаллического устройства / В.В. Беляев, А.С. Соломатин, Д.Н. Чаусов и др. заявитель и правообладатель Москва, Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Московский государственный областной университет 2015115778; заявл. 27.04.2015; опубл. 11.07.2017, Бюл. №20. – 4 с.
45. Патент №0002607454. Российская Федерация, МПК C01K 19/52 Способ получения смеси жидкого кристалла с полимером для дисплейной техники и оптоэлектроники / В.В. Беляев В.И. Мащенко, Д.Н. Чаусов, А.С. Соломатин, заявитель и правообладатель Москва, Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Московский государственный областной университет 2015107901; заявл. 10.03.2015; опубл. 10.01.2017,

Бюл. №1. – 4 с.

46. Патент №0002497167. Российская Федерация, МПК G02F1/133 Способ получения ориентированного слоя жидкого кристалла / В.В. Беляев, В.М. Козенков, Д.Н. Чаусов; заявитель и правообладатель Москва, Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Московский государственный областной университет 2012117975/04; заявл. 03.05.2012; опубл. 27.10.2013, Бюл. №30. – 13 с.

47. Методика №ГСССД МЭ 221–2014 Методика экспериментально – расчетного определения поверхностного угла наклона в жидкокристаллических ячейках с однородным и неоднородным распределением директора / В.В. Беляев, А.С. Соломатин, Д.Н. Чаусов, Зарегистрирована в Российском научно – техническом центре информации по стандартизации, метрологии и оценке соответствия (ФГУП "Стандартинформ") от 28.05.2014 протокол №2.

48. Методика №ГСССД МЭ 226–2014 Методика экспериментально – расчетного определения полярной энергии сцепления жидкого кристалла с ориентирующей пленкой в жидкокристаллических ячейках / В.В. Беляев, Ал.Ан. Муравский, Ан.Ал. Муравский, А.С. Соломатин, Д.Н. Чаусов, Зарегистрирована в Российском научно – техническом центре информации по стандартизации, метрологии и оценке соответствия (ФГУП "Стандартинформ") от 02.09.2014 протокол №4.

49. Методика № ГСССД МЭ 238–2015 Методика экспериментально – расчетного определения показателей преломления нематического жидкого кристалла для обыкновенного и необыкновенного лучей / В.В. Беляев, С.М. Пестов, А.С. Соломатин, Д.Н. Чаусов, Зарегистрирована в Российском научно - техническом центре информации по стандартизации, метрологии и оценке соответствия (ФГУП "Стандартинформ") от 04.05.2015 протокол №.3.

50. Методика №ГСССД МЭ 265–2017 Методика экспериментально – расчетного определения реологических характеристик нематических жидких кристаллов / В.В. Беляев, С.М. Пестов, Д.Н. Чаусов, Зарегистрирована в Российском научно – техническом центре информации по стандартизации, метрологии и оценке соответствия (ФГУП "Стандартинформ") от 28.09.2017 протокол №8.

51. В.В. Беляев, Д.Н. Чаусов, А.С. Соломатин, М.М. Кузнецов Методика экспериментально – расчетного определения полярной энергии сцепления жидкого кристалла с ориентирующей пленкой в жидкокристаллических ячейках с однородным и неоднородным распределением директора М.: Диона, 2015 – 29с.

52. В.В. Беляев, Д.Н. Чаусов, А.С. Соломатин, М.М. Кузнецов Методика экспериментально – расчетного определения поверхностного угла наклона в жидкокристаллических ячейках с однородным и неоднородным распределением директора М.: Диона, 2015 – 28с.

Тезисы докладов:

53. Д.Н. Чаусов Анизотропия диэлектрической проницаемости жидкокри-

сталических материалов на основе цианофенилпиридинов // XIII Межвузовская научная конференция молодых ученых «Жидкие кристаллы и “умные,, наноматериалы» г. Иваново 16–20 апреля 2018 г. 13с.

54. D.N. Chausov Sensitized photo-induced optical anisotropy in amorphous films // International Conference on Mathematical Modeling and Computational Physics (MMCP'2017), JINR, Dubna, Russia, 3–7 July 2017. 43с.

55. A.A. Spakhov, V.M. Kozenkov, D.N. Chausov, V.V. Belyaev Modern materials as the basis for green technologies in creating LCDs // 2nd International Conference on Green Chemistry and Sustainable Engineering, Rome, Italy, 20–22 July 2016. P.27.

56. Д.Н. Чаусов, А.Д. Курилов, В.В. Беляев Диэлектрическая релаксация в двухчастотной жидкокристаллической смеси ЖК–1282 // Физические свойства материалов и дисперсных сред для элементов информационных систем, нанoeлектронных приборов и экологичных технологий. г.Москва 14 – 21 апреля 2016 с.37–38.

57. А.Д. Курилов, Д.Н. Чаусов Численная аппроксимация диэлектрических спектров жидкокристаллической смеси ЖК–1282 // Проблемы создания образовательной среды по физике в условиях реализации новых стандартов. Общеобразовательные учреждения, педагогические вузы: доклады научно – практической конференции. Москва, 13–14 апреля 2016 г. с.61–64.

58. А.А. Спахов, В.М. Козенков, Д.Н. Чаусов, Х.С. Квок Спектральная фотосенсибилизация оптической анизотропии в твердых пленках поли (винил циннамата) // IX Международная научная конференция "Кинетика и механизм кристаллизации. Кристаллизация и материалы будущего г.Иваново, Россия, 13–16 сентября 2016 г., с.137.

59. Д.Н. Чаусов, А.Д. Курилов, В.В. Беляев Диэлектрические свойства жидкокристаллической смеси ЖК–1282 // IX Международная научная конференция "Кинетика и механизм кристаллизации. Кристаллизация и материалы будущего г. Иваново, Россия, 13–16 сентября 2016 г., с.136.

60. A.K. Dadivanyan, V.V. Belyaev, D.N. Chausov, Nematic LC alignment on nanomesh aluminum films: theory and experiments // Abstracts of 2nd NANOSMAT –Asia –2015 Conf., Turkey, March 2015, с.58–60.

61. Д.Н. Чаусов, И.В. Петухов, В.В. Беляев и др. Влияние электронных дисплеев на зрительное утомление человека–оператора // Международная конференция «Физические свойства материалов и дисперсных сред для элементов информационных систем, нанoeлектронных приборов и экологичных технологий», г.Москва, МГОУ, 21–24 апреля 2015 г., Тезисы докладов. с.87.

62. А.К. Дадиванян, Д.Н. Чаусов, О.В. Ноа и др. Межмолекулярные взаимодействия и фазовые переходы смектик А – смектик С // Международная конференция «Физические свойства материалов и дисперсных сред для элементов информационных систем, нанoeлектронных приборов и экологичных

технологий», г.Москва, МГОУ, 21–24 апреля 2015 г., Тезисы докладов. с.79.

63. Д.Н. Чаусов, М.В. Светлов, В.В. Беляев и др. Зависимость внутренней энергии ЖК от взаимной ориентации молекул мезогенов и параметра порядка // Международная конференция «Физические свойства материалов и дисперсных сред для элементов информационных систем, нанoeлектронных приборов и экологичных технологий», г.Москва, МГОУ, 21–24 апреля 2015 г., Тезисы докладов. с.75.

64. А.Д. Курилов, Д.Н. Чаусов, М.С. Константинов и др. Анизотропия диэлектрической проницаемости смеси ЖК–1282 // Международная конференция «Физические свойства материалов и дисперсных сред для элементов информационных систем, нанoeлектронных приборов и экологичных технологий», г.Москва, МГОУ, 21–24 апреля 2015 г., Тезисы докладов. с.52.

65. D.N. Chausov, V.I. Maschenko, V.V. Belyaev, A.L. Bugrimov, Formation of oriented MWCNT agglomerates in a liquid by using arc discharge // International Conference on Diamond and Carbon Materials Madrid, Spain. 7–11 September 2014. Abstracts. [P2.022].

66. D.N. Chausov, V.V. Belyaev, M.V. Svetlov, A.K. Dadivanyan et al. Simulation of aliphatic and mesogenic molecules orientation on carbon nanomaterials surface // International Conference on Diamond and Carbon Materials Madrid, Spain. 7–11 September 2014. [P1.013].

67. A.K. Dadivanyan, V.V. Belyaev, D.N. Chausov, et al. Nematic liquid crystal alignment on nanoporous films // 25th International Liquid Crystal Conference 2014 (ILCC2014) 29 June – 4 July 2014, Dublin, Ireland, Abstracts. P3.005.

68. V.V. Belyaev, A.S. Solomatin, D.N. Chausov, et al. Optical properties of hybrid aligned nematic (HAN) LC cells // 25th International Liquid Crystal Conference 2014 (ILCC2014) 29 June – 4 July 2014, Dublin, Ireland, Abstracts. P1.040.

69. D.N. Chausov, A.K. Dadivanyan, O.V. Noah, V.V. Belyaev Orientation of liquid crystals on interface // 25th International Liquid Crystal Conference 2014 (ILCC2014) 29 June – 4 July 2014, Dublin, Ireland, Abstracts. P3.024.

70. A.K. Dadivanyan, D.N. Chausov, O.V. Noah, et al. Phase transition nematic – Smectic A and Smectic A – Smectic C // 25th International Liquid Crystal Conference 2014 (ILCC2014) 29 June – 4 July 2014, Dublin, Ireland, Abstracts. P2.008.

71. V.V. Belyaev, A.S. Solomatin, D.N. Chausov, Phase retardation difference of liquid crystal cells with symmetric and asymmetric boundary conditions // 15th topical meeting on Optics of liquid crystals, September 29 – October 4, 2013, Honolulu, HI, USA. Abstracts. No. OLC2013–46.

72. В.В. Беляев, Д.Н. Чаусов и др. Установки для измерения параметров ориентации жидких кристаллов (угол наклона, энергия сцепления) оптически и электрооптическими методами // 21–й международный симпозиум «Передовые дисплейные и световые технологии» (ADLT–13) (в сотрудничестве с

Международным форумом электронной промышленности «Экспо Электроника»), г. Мытищи, МГОУ, 9–12 апреля 2013 г. Программа мероприятий и тезисы докладов. с.67.

73. Д.Н. Чаусов, В.В. Беляев, М.Н. Светлов, А.К. Дадиванян, Энергия сцепления ЖК с органосилоксанами // Первая Всероссийская конференция по жидким кристаллам. 17–21 сентября 2012г. Иваново, Сборник тезисов. с.218.

74. В.В. Беляев, А.С. Соломатин, Д.Н. Чаусов и др. Угол наклона и энергия сцепления в ЖК–ячейках с кремнийорганической ориентирующей пленкой // Первая Всероссийская конференция по жидким кристаллам. 17–21 сентября 2012г. Иваново, Сборник тезисов. с.106.

75. В.В. Беляев, А.С. Соломатин, А.А. Горбунов, Д.Н. Чаусов, В.М. Шошин Измерение поверхностного угла наклона в ЖК–ячейках с однородным и неоднородным распределением директора // Первая Всероссийская конференция по жидким кристаллам. 17–21 сентября 2012г. Иваново, Сборник тезисов. с.69.

76. В.В. Беляев, Д.Н. Чаусов, Ю.П. Бобылев Ориентация ЖК в пористых средах // Первая Всероссийская конференция по жидким кристаллам. 17–21 сентября 2012г. Иваново, Сборник тезисов. с.53.

77. А.К. Дадиванян, Д.Н. Чаусов, О.В. Ноа и др. Полярная и азимутальная энергия сцепления жидких кристаллов и красителя // Первая Всероссийская конференция по жидким кристаллам. 17–21 сентября 2012г. Иваново, Сборник тезисов. с.47.

78. А.К. Dadivanyan, D.N. Chausov, O.V. Noah et al. Anchoring energy of liquid crystals // 14th International Topical Meeting “Optics of Liquid Crystals”. September 25 – October 1, 2011. Yerevan, Armenia. Book of Abstracts. P–83.

79. В.В. Беляев, Ал.Ан. Муравский, Д.Н. Чаусов и др. Ориентация НЖК различной полярности на пленках кремнийорганических соединений различного молекулярного строения // Доклады – Минск: БГУИР, 2011, с.42

80. А.К. Dadivanyan, D.N. Chausov, Yu.M. Pashinina et al. Polar and Azimuthal Anchoring Energy of Liquid Crystals // Proceedings of the XXXI IDRC Eurodisplay 2011, Arcachon, France, 19-22 September 2011, Poster Session, P.30–31.

81. V.V. Belyaev, A.S. Solomatin, D.N. Chausov, et al. Different Polarity NLC Alignment on Organosilicon Films of Varying Molecular Structure // Proceedings of the XXXI IDRC Eurodisplay 2011, Arcachon, France, 19–22 September 2011, Session S1, P.17–19.

82. А.К. Дадиванян, Д.Н. Чаусов, Ю.М. Пашина, и др. Ближний ориентационный порядок и гидрофобные взаимодействия в растворах биополимеров // III Международная конференция «Современные проблемы молекулярной биофизики» 14–15 июня 2011. Санкт–Петербург, 2011. Сборник тезисов. с.13.

83. А.К. Dadivanyan, Yu.M. Ryabova, D.N. Chausov, et al. Orientation of Mesogen Molecules on Different Surfaces // 23rd International Liquid Crystals Conference Krakov, Poland. 11th – 16th July, 2010, P.2.29.

84. V.V. Belyaev, V.Y. Baranov, D.N. Chausov, A.M. Gorbunov, A.S. Solomatin
A Complex for LC Substances and Materials Characterization 15th International
workshop on inorganic and organic electroluminescence. Abstracts. P. 16 St – Petersburg
State Institute of Technology. St–Petersburg, Russia, September 27 – October 1,
2010.

85. А.К. Дадиванян, О.В. Ноа, Д.Н. Чаусов, Фазовые переходы в растворах
полимеров с ближним ориентационным порядком // Пятая всероссийская Кар-
гинская конференция «Полимеры – 2010». Москва, МГУ, 21 июня – 25 июня
2010г. Тезисы устных и стендовых докладов. Серия 5А. с.232.

86. A.K. Dadivanyan, Yu.M. Ryabova, D.N. Chausov, V.V. Belyaev, A.S. Solomatin,
Orientation of Mesogen Molecules on Different Surfaces // 15th Int. workshop on
inorganic and organic electroluminescence. Abstracts. P. 162 St – Petersburg State
Institute of Technology. St–Petersburg, Russia, September 27 – October 1, 2010.