

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Эгамова Мухтора Хасановича на тему «Структура и оптические свойства дисперсных сред на основе полимера и жидкого кристалла», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.8 – физика конденсированного состояния

Современный мир невозможно представить без ЖК-дисплеев. Мониторы компьютеров, смартфонов, телевизоров, и, вообще, любой экран сегодня жидкокристаллический. Динамичное развитие этой отрасли мы замечаем при покупке нового телевизора, смартфона или любого устройства с дисплеем. Данное обстоятельство в значительной степени определяет научную значимость исследований, в рамках которых предполагается получить совокупность экспериментальных и теоретических результатов, детально описывающих физические механизмы протекающих процессов в подобных устройствах, и, в частности, в тех случаях, когда требуется сохранить это состояние на определенное время. Особенно это касается поверхностных явлений на границе раздела двух сред, когда одна из них жидкокристаллическая.

Поэтому тема диссертационной работы Эгамова Мухтора Хасановича, посвященная разработке и созданию новых инновационных композитов, диспергированных полимером жидкокристаллических плёнок (ДПЖК) с оптимальными структурными и механическими характеристиками, безусловно актуальна.

Сегодня композитные материалы, благодаря сочетанию прочности и лёгкости, занимают одно из главных направлений развития в автомобилестроении, в авиационной технике. В медицине, благодаря биосовместимости, композитные материалы нашли широкое применение в изготовлении имплантов и протезов. Лёгкость, прочность, долговечность, устойчивость к коррозии и перепадам температур новых композитных материалов открывает новые перспективы применения композитов в строительстве. Сегодня активно развивается новая область – нанокompозитные материалы, которые приобретают новые свойства при уменьшении размеров компонентов до наноуровня, хотя бы в одном направлении, при сохранении их основных характеристик. Создание новых технологий получения нанокompозитов, дающих возможность достижения равномерных глобулярных структур в полимерных матрицах, имеют реальные перспективы широкого внедрения. При этом следует учитывать сохранение активности наночастиц и нанопорошков, особенности и подходы к технологии их введения в полимерные матрицы (автономно или опосредованно), воспроизводимость получаемых результатов. Именно благодаря своим наномасштабным размерам они имеют превосходные поверхностные свойства в составе различных полимерных нанокompозитных материалов, позволяя (в

зависимости от концентрации, структуры, распределения и др.) манипулировать свойствами конечного элемента, т.е. получить новый функциональный нанокомпозитный полимерный материал.

Например, представляет большой интерес изучение различных поверхностных явлений на границе раздела двух компонентов композитных материалов. Особый интерес вызывают композитные материалы, в которых один из компонентов является жидким кристаллом. Функционирование всех жидкокристаллических устройств основано на свойствах жидкокристаллического слоя, которые определяются формированием соответствующих граничных условий.

Жидкокристаллические композиты представляют собой полимерную матрицу, в объёме которой распределены дисперсные включения в виде капсул, содержащих нематическую жидкокристаллическую фазу.

Они привлекательны тем, что сочетают в себе полезные свойства полимеров (механическая прочность, стабильность, гибкость, невысокая стоимость) с уникальными физическими свойствами жидких кристаллов (анизотропия оптических и диэлектрических свойств). Такие композитные материалы позволяют использовать относительно простую, одноэтапную технологию оптической записи, долговременно хранить поляризационное состояние, что обеспечивает высокую поляризационную селективность записанных поляризационных решеток.

Типичным примером таких композитов является слой нематического жидкого кристалла (НЖК), диспергированного в полимерной пленке, типа поливинилового спирта (ПВС) и поливинилбутираль (ПВБ). При этом ориентирующее воздействие пленки должно быть различным (планарным или гомеотропным). Вариация температуры или толщины полимерной пленки изменяет баланс ориентирующего действия и инициирует переориентацию слоя ЖК.

Макроскопические и оптические свойства диспергированных полимером жидкокристаллических плёнок определяются ориентационной структурой жидкого кристалла в каплях; её модификация позволяет целенаправленно управлять оптическими характеристиками всей плёнки.

В последние годы было уже установлено, что ориентационное упорядочение жидкого кристалла в каплях определяется соотношением упругих констант жидкого кристалла, размерами и формой капель, граничными условиями и внешним воздействием. Также был выполнен ряд исследований, направленных на разработку и изучение жидкокристаллических структур с управляемыми условиями поверхностного сцепления. Была экспериментально реализована переориентация капель жидкого кристалла, обусловленная модификацией граничных условий вследствие формирования наноразмерного слоя сурфактанта под действием внешнего поля. Тем не менее, до сих пор актуальна научная проблема создания диспергированных полимером жидкокристаллических плёнок с оптимальными структурными и механическими характеристиками. Данное обстоятельство в значительной степени определяет научную значимость

исследований, в рамках которых предполагается получить совокупность экспериментальных и теоретических результатов, детально описывающих физические механизмы протекающих процессов.

Научная новизна исследования заключается в том, что автором обнаружено наличие двух видов дефектов внутри капель нематика – точечные и линейные, приводящие к интенсивному рассеянию излучения. В исходном состоянии из-за значительного градиента показателей преломления между полимером и ЖК она проявляется очень слабо, а в режиме насыщения дополнительный вклад рассеяния на дефектах ориентационной структуры внутри капель нематика способен оказывать значительное влияние на коэффициент пропускания образца. Диссертантом реализован эффект уменьшения степени поляризуемости ДПЖК-поляризатора при высоких значениях относительного удлинения, связанные с коалесценцией мелких капель и образованием крупных по размеру капель ЖК в полимерной матрице. Эгамову М.Х. доказаны возможности улучшения качества работы поляризаторов на основе ДПЖК пленок с концентрацией 1:5, перечислены их преимущества и диапазон функционирования в видимой и ближней инфракрасной области по отношению к поляроидным пленкам.

Практическая значимость работы заключается в создании технологии получения новых композитных пленок на основе гибкоцепных линейных полимеров и нематических жидких кристаллов. В дальнейшем эта технология была усовершенствована путем добавления пластификаторов и сурфактантов. Также следует подчеркнуть создание методики компьютерного моделирования структуры капель нематика со слабыми и жесткими сцеплениями капель на границе раздела двух несовместимых компонентов фаз. Диссертантом усовершенствована технология получения композиционного материала на основе полимерных пленок и нематических жидких кристаллов типа 5СВ и 7СВ с улучшенными морфологическими характеристиками. Автор разработал оптико-механическую модель, способную выявить физические параметры ДПЖК пленки для получения максимальной степени поляризации светового излучения и коэффициента когерентного пропускания композитной пленки в зависимости от ортогонально направленного к поверхности пленки света.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка цитируемой литературы, включающего работы самого автора.

Во введении обосновывается актуальность темы исследования, формулируются основные цели и задачи диссертационного исследования, подчеркиваются научная новизна и практическая значимость. Приводятся основные положения, выносимые автором на защиту, излагается апробация результатов, а также указываются личный вклад автора.

В первой главе диссертации приведен обзор научных работ в данной области, в частности, проанализированы работы по созданию композитных полимерно-жидкокристаллических материалов и методики их исследования, применению сурфактанта в качестве ориентирующих добавок, перспективам создания новых композитных полимерных пленок. Данная глава завершается постановкой задачи исследования.

Вторая глава дает обширные сведения об объектах исследования: широко используемых полимерах ПВС и ПВБ, а также их наполнителях: сурфактанта (ЦТАБ - цетилтриметиламмония бромид) для облегчения процесса переориентации молекул нематика и глицерин в качестве пластификатора; рассмотрена технология приготовления композитов из общих растворов в ароматических растворителях. Обосновано использование в работе методов исследования: поляризационно-оптической микроскопии (ПОМ), оптической спектроскопии (ИК-Фурье), электрофизические и механические, ДСК, термометрии, лазерной спектроскопии и численного (компьютерного) моделирования. Приведены сведения об использованной аппаратуре.

Третья глава посвящена результатам формирования биполярных капель нематика и всевозможные процессы переориентации директора во внешних полях. Здесь автором установлено, что наличие точечных и линейных дефектов внутри капель нематика способствуют дополнительному рассеянию света. Последнее слабо проявляется в исходном состоянии, когда преобладает рассеяние света вследствие значительного градиента показателя преломления между полимерной матрицы и НЖК. В режиме насыщения данный градиент показателя преломления становится незначительным, а дополнительный вклад рассеяния на дефектах ориентационной структуры внутри капель НЖК 5 СВ способен оказывать значительное влияние на общую картину рассеяния, и, как следствие, на коэффициент пропускания образца. Обнаружено, что более низкие поля переориентации и более резкие переходы между включением и выключением могут вызвать изменения в морфологии, диэлектрических свойствах и энергии поверхностного сцепления ДПЖК. Соответственно, состояния памяти могут возникать либо из-за механической фиксации жидкокристаллического директора, находящихся в более ориентированном состоянии во время процесса охлаждения, либо из-за возникновения внутреннего электрического поля на границах капель жидких кристаллов.

Соискателем предложена новая технология получения ДПЖК, работающих в обратном режиме, которые получают путём возникновения долговременного стабильного внутреннего постоянного электрического поля, работающем в прямом режиме, легированном металлическими наночастицами. Использование наночастиц позволяет создавать в ДПЖК большие внутренние постоянные электрические поля и достигать однородной ориентированной конфигурации директора НЖК 5СВ с коэффициентом пропускания в состоянии ВЫКЛ до 75%.

Четвертая глава диссертации посвящена поляризующим свойствам ДПЖК пленок с эллипсоидальными каплями нематика. Подробно описывается оптическая модель коэффициента светопропускания ДПЖК слоя и различные механизмы поляризации излучения. Предлагается модель описания оптического отклика ДПЖК пленки при ее растяжении в зависимости от размеров, параметров анизотропии ЖК капель, их концентрации, внутренней структуры, полидисперсности и ориентации оптических осей. Реализованный автором модель позволяет определять параметры пленки для достижения

предельных значений степени поляризации прямопрошедшего света и коэффициента когерентного пропускания пленки в зависимости от длины волны падающего света. На основе поляризационных микроскопических измерений установлено, что значению коэффициента удлинения соответствуют вытянутые вдоль направления растяжения капли в форме эллипсоидов вращения относительно оси растяжения с бездефектной однородно ориентированной структурой локального директора. Физическим механизмом образования бездефектных мономерных структур капель при растяжении и наличии сурфактанта является формирование неоднородного поверхностного сцепления молекул жидкого кристалла на границе капля–полимер, изменяющееся в меридианном направлении от тангенциального на экваторе к гомеотропному на полюсах.

В пятой главе представлены результаты комплексного (теоретического и экспериментального) исследования строения и конформационных свойств молекул 4-алкил-4'-цианобифенила методами колебательной инфракрасной спектроскопии. Анализ измеренных спектров выполнен с учетом имеющихся экспериментальных данных о молекулярной структуре, температурах фазовых переходов и полученных результатов теоретического моделирования ИК спектров. Расшифрованы и интерпретированы характеристические ИК-полосы поглощений НЖК 5СВ и 7СВ в диапазоне $400 - 4000 \text{ см}^{-1}$ как при комнатной, так и при температурах до 150°C . Диссертантом установлено, что максимальное уменьшение интенсивности при фазовом переходе НЖК 5СВ обнаруживается для полосы $500-580 \text{ см}^{-1}$, интенсивность которой уменьшается приблизительно на 10%. Данные уменьшения интенсивности полос ИК спектра при нагревании жидкого 5СВ предположительно могут быть следствием конформационных процессов, так как в большинстве случаев полосы являются чувствительными к конформационной подвижности. Автор доказал, что поворот бензольных колец друг относительно друга сопровождается изменением относительной ориентации взаимодействующих орбиталей мостиковых атомов углеродных колец.

Результаты диссертационной работы позволяют произвести численные расчеты реального эксперимента с целью обеспечения регулируемой оптической поглощательной способности в различных устройствах оптического назначения.

Диссертация Эгамова М.Х. написана на понятном языке, изложение материала построено вполне логично. Список цитируемой литературы полностью отражает ситуацию в данной области исследований. Наряду на несомненные достоинства работы, следует отметить следующие **замечания**:

1. Работа содержит большое количество стилистических и грамматических ошибок. Это, скорее всего, связано с тем, что русский язык для диссертанта не родной;

2. Поскольку любой экспериментальный факт основан на статистической природе явлений, было бы целесообразно оценить в работе не только средние величины, но и другие статистические параметры: дисперсии, среднеквадратичные отклонения, доверительные интервалы и показать их на

графиках (рис. 1, 2, 3 и 5 в автореферате); (рис. 3.1.2; 3.1.3; 3.4.2 - 3.4.6; 4.1.3; 4.2.3; 4.4.3 в диссертации).

3. Концентрация ЦТАБ (цетилтриметиламмоний бромида) в составе нематика для исследования эффекта светопропускания пленок и ЖК ячеек варьировалась в ограниченном интервале 0,03-0,1%: не указаны причины добавки более высоких значений.

4. В диссертации отсутствует нумерация страниц.

5. В диссертации очень много аббревиатур, многие из которых относятся коллоидной химии, и практически не употребляются в физике. Поэтому следовало бы привести список сокращений также и в автореферате, или, по возможности, избегать употребления аббревиатур.

Отмеченные замечания не влияют на общую положительную оценку работы, которая является законченным исследованием, имеющим несомненное научное и практическое значения.

На основе полученных результатов и произведенных расчетов, автором подготовлены и опубликованы более 100 научных работ, из которых 10 – в международных журналах, индексируемых Web of Science и Scopus, 31 – в рецензируемых журналах, включенных в списки ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ, 1 патент на изобретение, 71 тезис докладов в материалах Международных и Всероссийских научных конференций. Автореферат и публикации содержат основные идеи и выводы, полностью отражающие содержание диссертации.

Заключение

Считаю, что диссертационная работа Эгамова Мухтора Хасановича «Структура и оптические свойства дисперсных сред на основе полимера и жидкого кристалла», является законченной научной квалификационной работой, способствующей решению актуальной задачи, которая имеет существенное теоретическое и практическое значение для оптоэлектроники, фотоники и дисплейной техники.

Диссертация Эгамова М.Х. соответствует требованиям 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г. Содержание диссертационной работы соответствует паспорту специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния: пункт 1 – «Теоретическое и экспериментальное исследования физических свойств упорядоченных и неупорядоченных неорганических и органических систем, включая классические и квантовые жидкости, стекла различной природы, дисперсные и квантовые системы»; пункт 4 – «Теоретическое и экспериментальное исследование воздействия различных видов излучений, высокотемпературной плазмы на природу изменений физических свойств конденсированных веществ». Все вышеизложенное позволяет считать, что автор диссертации Эгамов М.Х. заслуживает присвоения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.8 – физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент:

Член-корреспондент АН Республики Татарстан, д.ф.-м.н., профессор, профессор кафедры общей физики Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева-КАИ. Специальность, по которой защищена диссертация: 01.04.07 – Физика конденсированного состояния		Тимеркаев Борис Ахунович
---	--	---------------------------------

Почтовый адрес: 420111, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Маркса, 10.

Тел.: служ.: +7 843 231 02 42

моб.: 8 904 661 58 78

e-mail: btimerkaev@gmail.com

Даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета 99.0.057.02 на базе Таджикского национального университета и их дальнейшую обработку.

_____ /Б.А. Тимеркаев

«27» августа 2026 г.

Подпись Тимсертсва Б. А.
заверяю. Начальник управления
делопроизводства и контроля

