

ТАДЖИКСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

УКД: 539.18

АВАЗИ МИРЗО

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФУЛЛЕРЕНОВ И УГЛЕРОДНЫХ
НАНОТРУБОК НА СТРУКТУРУ И ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
НЕКОТОРЫХ АМОРФНЫХ И КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРОВ**

Автореферат

**диссертации на соискание учёной степени кандидата физико-
математических наук по специальности 01.04.07– физика
конденсированного состояния**

Душанбе - 2024

Диссертация выполнена в лаборатории Физики конденсированных сред имени д.ф.-м.н., профессора Б.Н. Нарзуллаева Научно-исследовательского института Таджикского национального университета

Научный руководитель: **Рашидов Джалил** - доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики твердого тела Таджикского национального Университета

Официальные оппоненты: **Ногай Адольф Сергеевич** - доктор физико-математических наук, профессор кафедры «Электроники, радиотехники и телекоммуникации» НАО «КазАТУ» им. С. Сейфуллина

Эгамов Мухтор Хасанович – кандидат физико-математических наук, СИС, заведующий лабораторией физики Худжандского научного центра НАНТ

Ведущая организация: **Институт химии им. В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана.**

Защита диссертации состоится «11» сентября 2024 года, в 14:00 часов на заседании диссертационного совета 6ДКАО-056 при Таджикском национальном университете по адресу 734027, РТ, г. Душанбе, поселок Буни Хисорак, учебный корпус №16, физический факультет, 206 аудитория.

С диссертацией можно ознакомиться на сайте www.tnu.tj и в Центральной научной библиотеке Таджикского национального университета по адресу 734025, г. Душанбе, проспект Рудаки, 17.

Автореферат разослан « ___ » _____ 2024 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
6ДКАО-056, к.ф.-м. н., доцент



Исломов З.З.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Как известно, основные тенденции развития современного материаловедения, в частности материалов на полимерной основе являются создания новых - инновационных композиционных материалов с улучшенными физико-химическими и эксплуатационно-технологическими свойствами. В последние десятилетия, эта тенденция стала ещё более актуальной в связи с появлением новых методов и технологий получения новых композиционных материалов с использованием различных микро- и нанодисперсных частиц. Таким образом, добавление (допирование) наноразмерных частиц, способствовало получению новых наноразмерных структур в матрицах исходного материала, т.е. привело к созданию новых нанокompозитных материалов.

Допирование малых концентраций нанокompозитных частиц (графены, графеноксиды различного происхождения) в матрицу полимеров приводит к существенным изменениям механических, физико-химических и технологических свойств исходных полимеров и таким образом, к созданию новых перспективных углеродсодержащих нанокompозитов с «управляемыми» свойствами. Особый интерес представляют, углеродсодержащие нанокompозитные полимерные материалы на основе наиболее распространённых и широко используемых полимерных материалов. К ним можно отнести, в частности, полиэтилен низкой плотности (ПЭНП), полиметилметакрилат (ПММА) и полистирол (ПС).

Степень изученности научной проблемы, теоретические и методологические основы исследований. К степени изученности темы диссертационной работы, безусловно, можно отметить многие фундаментальные научные труды отечественных и зарубежных ученых, которые изучили свойства наночастиц на основе аллотропных форм углерода и сумели целенаправленно использовать их в качестве нанодобавок в матрицах исходного полимерного материала и получения УНКПМ с заданными свойствами.

Проблемы взаимодействия допированных углеродных наночастиц (УНЧ) с полимерной матрицей многогранны и достаточно сложны и во многом имеют квантовую природу. Поэтому традиционные «классические» методы исследования не всегда подходят для подробного их изучения. Очевидным становится использование новых методов и подходов к изучению УНКПМ. Проводимые экспериментальные исследования, в рамках настоящей работы, акцентированы, именно на использовании более современных методов: атомно-силовой микроскопии (АСМ), лазерной вспышки (ЛВ), лазерной фотоакустики (ФА), дилатометрии, бриллюэновского рассеяния (БР), оптической и люминесцентной спектроскопии и современного экспериментального оборудования, необходимого для изучения некоторых фундаментальных (структурных, упругих, оптических и теплофизических) свойств рассматриваемых образцов УНКПМ.

Разумеется, говоря о степени изученности исследуемых углеродных нанокomпозиционных полимерных материалов (УНКПМ), следует, отметить, что кроме фундаментально научно-исследовательского интереса, они представляют, безусловно, и огромные прикладные интересы. Известно, что год с годом по всему миру, растёт объем финансирования на коммерциализации научных проектов прикладного характера, с целью создания и разработки новые УНКПМ с требуемыми характеристиками.

Связь исследования с научными проектами и темами.

Диссертация выполнена в 2015-2024 гг. в соответствии с тематикой научных исследований лаборатории Физики конденсированных сред Научно-исследовательского института имени профессора Нарзуллаева Б.Н. Таджикского национального университета в рамках тем «Исследование структуры и физических свойств нанокarбосодержащих конденсированных систем», зарегистрированных за номером № 0114ТJ00358 на период 2014-2018 гг. и проекта «Структура и физические свойства нанокarбон-наполненных конденсированных систем» № 0119ТJ01006 в течение 2019 – 2023 гг.

Тема диссертационной работы соответствует Перечню приоритетных направлений научных и научно-технических исследований, выполняемых в течение 2015-2024 гг. в Республике Таджикистан (Согласно Постановлению Правительства РТ №765 от 04.12.2014 г.) и на период с 2021 по 2025 гг. (Согласно Постановлению Правительства РТ №503 от 26.09.2020 г.).

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель диссертационной работы заключается в исследовании влияния фуллеренов (C_{60} , C_{70}) и углеродных нанотрубок на структуру и физические свойства нанокomпозитов на основе аморфных (ПММА и ПС) и кристаллического полимера (ПЭНП).

Объектами исследования являются ПЭНП (ГОСТ 16337-77) с молекулярной массой $M=6 \cdot 10^4$; аморфные полимеры - ПММА (ГОСТ 16667-74), $M=8 \cdot 10^4$ и ПС марки 143Е (ГОСТ 20282-74), $M=28 \cdot 10^4$. Все образцы в виде тонких прозрачных плёнок были получены из растворов в различных растворителях, (толуол, изомеры ксилола, дихлорбензол, бромбензол) марки «ХЧ». В качестве допируемых углеродных наночастиц (УНЧ) использовались фуллерены C_{60} , C_{70} и МУНТ, концентрация которых варьировалась в пределах $C=0,1 - 10$ масс. %.

Предметом исследований является изучение влияния малой концентрации допированных углеродных наночастиц на изменение фундаментальных оптических, теплофизических, механических (упругих) и структурных характеристик исследуемых углеродсодержащих нанокomпозитных полимерных образцов.

Задачи диссертации состоят в исследовании:

- морфологической структуры поверхности образцов УНКПМ на основе ПММА и ПЭНП методом атомно-силовой микроскопии;

- упругих свойств композитов ПММА и ПЭНП, наполненных нанокремнеземом методом бриллюэновской спектроскопии;
- теплофизических свойств нанокремнеземонаполненных композитов ПММА и ПЭНП методами дилатометрии и дифференциальной сканирующей калориметрии;
- спектрофотометрических и люминесцентных свойств композитов ПС и ПЭНП;
- фотоакустических свойств нанокремнеземонаполненных композитов ПММА и ПЭНП, компьютерном моделировании и проведении численных расчетов.

Методы исследования. В диссертационной работе использовались следующие физические методы исследования: атомно-силовая микроскопия (АСМ), оптическая спектроскопия (спектрофотометрическая и фотолюминесцентная), бриллюэновское рассеяние, дилатометрия, лазерная вспышка, лазерная фотоакустическая спектроскопия, а также методы численного (компьютерного) моделирования.

Научная новизна исследования:

- морфологические структуры поверхности композитов на основе ПММА и ПЭНП сложным образом зависят от типа допируемых углеродных наночастиц и их концентрации;
- температуропроводность нанокремнеземных полимеров на основе ПЭНП и ПММА линейно уменьшается как с ростом температуры, так и с ростом концентрации;
- определена концентрационная зависимость энергии ширины запрещенной зоны (E_g) композитов на основе ПММА и ПС. Выявлена общая тенденция уменьшения E_g с ростом концентрации нанокремнеземных частиц в композите;
- методом лазерной фотоакустики (ФА) с микрофонной схемой регистрации сигнала определены ряд оптических, теплофизических и акустических характеристик образцов УНКПМ. Получены соотношения между основными ФА параметрами для каждого композита; выявлено, что соотношения между ФА параметрами переходят от случая «оптически прозрачных» (исходные полимеры) к «оптически непрозрачным» (УНКПМ);
- разработана компьютерная моделирующая программа для проведения численных ФА экспериментов, позволяющая провести анализ зависимости параметров ФА сигнала от теплофизических и оптических характеристик УНКПМ.

Теоретическая значимость исследования заключается в разработке и усовершенствовании новых теоретических методов и подходов при интерпретации экспериментально полученных результатов, а также в создании новых углеродсодержащих полимерных наноструктур. На базе фундаментальной теории ФА метода с микрофонной схемой регистрации получены частные случаи его применения для образцов пленок УНКПМ. Разработана компьютерная моделирующая программа для проведения численных ФА экспериментов и исследованию различных физических свойств УНКПМ методом лазерной фотоакустики.

Практическая значимость исследования.

1. Одна из главных тенденций современного технологического процесса заключается в создании элементов, обладающих компактными геометрическими размерами (опто- и наноэлектроника, нанофотоника и др.). В диссертации разработана технология получения наноуглеродсодержащих композитов на основе тонких полимерных пленок, исследованы их структура и физические свойства.

2. Исследована морфология структуры (топография) поверхности образцов, несущая важную информацию о пространственном распределении углеродных наночастиц, их размеров, определяющие деформационные и прочностные показатели полимеров и УНКПМ разного состава.

3. Полученные результаты теплофизических, оптических, упругих и механических свойств нанокompозитов могут быть использованы для прогнозирования их свойств и работоспособности.

4. Результаты исследования могут быть использованы при чтении специальных курсов «Физика полимеров», «Физика композитных материалов» «Нанотехнологии и наноматериалы».

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Результаты экспериментальных исследований влияния наночастиц на морфологическую структуру поверхности ПММА и ПЭНП.

2. Влияние наноуглеродных частиц на смещение частоты пиков бриллюэновского рассеяния композитов на основе ПММА и ПЭНП.

3. Зависимость коэффициента температуропроводности наноуглеродсодержащих ПММА и ПЭНП от температуры.

4. Оптические свойства (спектры поглощения, отражения, пропускания и люминесценции) изученных композитов в диапазоне длин волн 200-800 нм.

5. Влияние НУМ на величину энергии ширины запрещенной зоны аморфных полимеров.

6. Разработанная компьютерная программа для проведения численных экспериментов по определению оптических и теплофизических характеристик наноуглеродсодержащих композитов методом лазерной фотоакустики.

Достоверность полученных результатов обеспечивалась: публикацией результатов исследований в открытой печати, в том числе в научных журналах, входящих в перечень базы данных ВАК РФ, Scopus и Web of Science; апробацией результатов на конференциях и симпозиумах различного уровня; применением современных методов исследования, таких как атомно-силовая микроскопия, бриллюэновская спектроскопия, дифференциально-сканирующая калориметрия, оптическая спектроскопия (спектрофотометрия и фотолюминесценция), лазерная вспышка, лазерная фотоакустика и компьютерное моделирование. Реализация указанных методов осуществлялась на научных оборудовании ведущих мировых производителей.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности.

Диссертация соответствует Паспорту номенклатуры специальностей ВАК при Президенте Республики Таджикистан по специальности 01.04.07 – Физика конденсированных сред по следующим пунктам:

1. Теоретическое и экспериментальное исследование физических свойств неупорядоченных органических и неорганических систем, в том числе классических и квантовых жидкостей, стекол различной природы и дисперсионных систем.

2. Структурные, морфологические и механические свойства наноматериалов и композиционных структур на их основе. Методы исследования наноматериалов и композиционных структур. Технологические методы производства наноматериалов, композиционных конструкций, конструкций наименьших размеров, устройств и комплексных средств на их основе.

3. Разработка математических моделей и прогнозирование изменения физических свойств конденсированных сред в зависимости от влияния внешних факторов; разработка экспериментальных методов изучения физических свойств и изложение физических основ промышленной технологии получения веществ с определенными свойствами.

Личный вклад соискателя состоит в анализе научной литературы по выбранной теме диссертационной работы, непосредственном проведении экспериментов, проведении измерений и расчётов, анализе и интерпретации экспериментальных результатов, подготовке и написании научных публикаций по теме исследования. Результаты работы были опубликованы при его непосредственном участии в виде статей и материалов конференций.

Этапы исследования включают в себя обоснованный выбор темы диссертации на основе обзора литературы и анализа современного состояния проблемы, постановка целей и задач исследования, выбор объектов, подготовка экспериментального оборудования, получение результатов, их анализ, обсуждение, выводы и заключения по теме проведенного исследования.

Апробация работы. Материалы диссертационной работы были представлены и обсуждены на: XI-й Международной научно-практической конференции студентов, магистрантов и молодых учёных «Ломоносов 2015» (Казахстан, Астана, 2015); X-й Международной научной конференции «Наука и образование - 2015» (Казахстан, Астана, ЕНУ им. Л.Н. Гумилёва, 2015 г.); XIII-й Международной научной конференции «Физика твёрдого тела», посвященной 20-летию Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева, (Казахстан, Астана, 2016 г.); XII-й Международной научной конференции студентов и молодых ученых «Наука и образование-2017», (Казахстан, Астана, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, 2017); V-й Всероссийской научной молодежной конференции «Актуальные проблемы микро- и наноэлектро-ники», (Россия, Уфа, БашГУ, 2018); XIII-й Международной научной конференции «Наука и образование - 2018», (Казахстан, Астана, 2018); VI-й Международной научно-практической конференции: «Актуальные проблемы транспорта и энергетики: пути их инновационного решения» (Казахстан, Астана, 2018); Республиканской

научно-практической конференции, посвященной «Двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования» на тему «Современные проблемы физики конденсированного состояния и ядерная физика» (Таджикистан, Душанбе, 2020); Республиканской научно-теоретической конференции профессорско-преподавательского состава и сотрудников ТНУ, посвященной «30-летию Государственной независимости Республики Таджикистан» и «20-летию изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования (2020-2040 годы)», (Таджикистан, Душанбе, 2021); Международной научно-практической конференции «Перспективы развития исследований в области химии координационных соединений и аспекты их применения», посвященной памяти профессора Баситовой С. М., 80-летию со дня рождения и 60-летию педагогической и научно-исследовательской деятельности профессора Азизкуловой О.А., (Таджикистан, Душанбе, 2022); XV-й Международной научной конференции «Физика твердого тела», (Казахстан, Астана, 2022).

Публикации по теме диссертации. По результатам исследований опубликованы 26 научных работ, из них 2 - статьи в индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus, 4 - в рецензируемых журналах ВАК при Президенте Республики Таджикистан, 2- статьи в научных журналах Казахстана, 18 тезисов и докладов в материалах международных и республиканских научных конференций.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 110 страницах компьютерного набора, содержит 9 таблиц, 49 рисунков и состоит из введения, 3 глав, основных выводов и списка цитируемой литературы из 121 наименований.

Ключевые слова: полимер, наноуглеродная частица, нанокompозит, фуллерены C_{60} и C_{70} , многостенная углеродная нанотрубка, структура, физические свойства, дилатометрия, атомно-силовая микроскопия, бриллюэновское рассеяние, лазерная фотоакустика.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы исследования, формулируются основные цели и задачи диссертационного исследования, обосновываются научная новизна и практическая значимость. Приводятся основные положения, выносимые автором на защиту, обосновывается достоверность полученных автором результатов, указывается личный вклад автора, излагается апробация результатов.

Первая глава – литературный обзор состоит из 4-х параграфов, в которых приведен краткий анализ работ по созданию наноуглеродсодержащих композитных полимерных материалов и методам их исследования, особенностям применения наноуглеродных частиц в качестве модифицирующих добавок, их влиянию на физико-химические свойства полимерных материалов и перспективам создания новых наноуглеродсодержащих композитных полимерных материалов.

Во второй главе приведены сведения об объектах исследования: широко используемых полимерах ПЭНП, ПММА и ПС, а также их нанокремнеземных наполнителях: фуллеренах C_{60} , C_{70} и многостенных углеродных нанотрубках (МУНТ); рассмотрена технология приготовления композитов из общих растворов в ароматических растворителях. Обосновано использование в работе методов исследования: атомно-силовой микроскопии (АСМ), оптической спектроскопии (спектрофотометрическая, фотолюминесцентная), бриллюэновского рассеяния, дилатометрии, лазерной вспышки, лазерной фотоакустической спектроскопии и численного (компьютерного) моделирования. Приведены сведения об использованной аппаратуре.

Третья глава посвящена результатам комплексного исследования влияния малых добавок (0,1÷10 масс. %) углеродных наночастиц: фуллеренов C_{60} , C_{70} и МУНТ на структуру, упругие и теплофизические свойства образцов плёнок ПММА, ПЭНП и ПС.

В разделе 3.1 исследована структура поверхности нанокремнезем-содержащих полимеров методом АСМ. Исследования проводились на чистых и УНКПМ пленках ПЭНП и ПММА, содержащих C_{60} , а также пленках ПММА разного содержания МУНТ. Результаты АСМ исследования, на примере, образцов группы ПММА+МУНТ приведены на рис. 1. Анализ результатов АСМ сканирование структуры поверхности образцов (относительно чистого образца ПММА) свидетельствуют о «шероховатостях» в пределах десятки нанометров и показывают, что добавки наночастицы МУНТ приводит к значительным изменениям морфологии поверхности композитов; получены результаты о пространственном распределении наночастиц, глубине их залегания и степени упорядоченности в полимерной матрице.

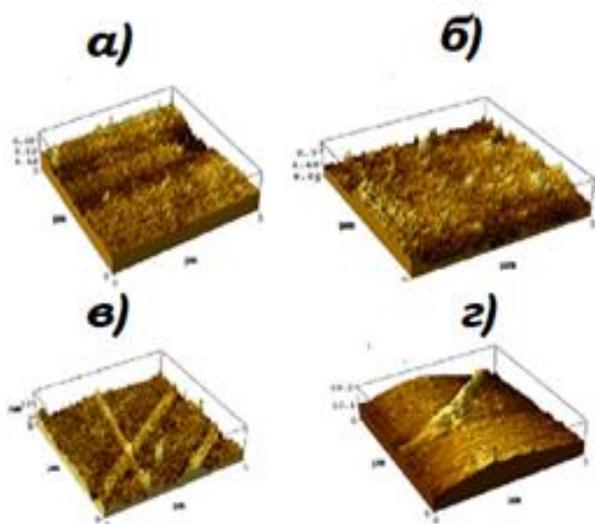


Рис. 1. Снимки 3D - АСМ сканирования поверхности образцов: а) ПММА-чистый; б) ПММА+0,1%МУНТ, в) ПММА+0,5% МУНТ и г) ПММА+1%.МУНТ.

В разделе 3.2. исследованы упругие свойства плёнок УНКПМ на основе ПЭНП и ПММА методом бриллюэновской спектроскопии. Установлено, что бриллюэновские пики (f_B) композитов на основе ПММА и ПЭНП с

увеличением концентрации МУНТ и фуллеренов C_{60} и C_{70} смещаются в область низких частот. Характер смещения пика бриллюэновского рассеяния f_B зависит как от типа полимерной матрицы, так и от вида и концентрации углеродных наночастиц. Концентрационные зависимости значений пиков бриллюэновских частот для различных типов нанокompозитных полимерных плёнок на основе ПЭНП и ПММА приведены на Рисунок 2.

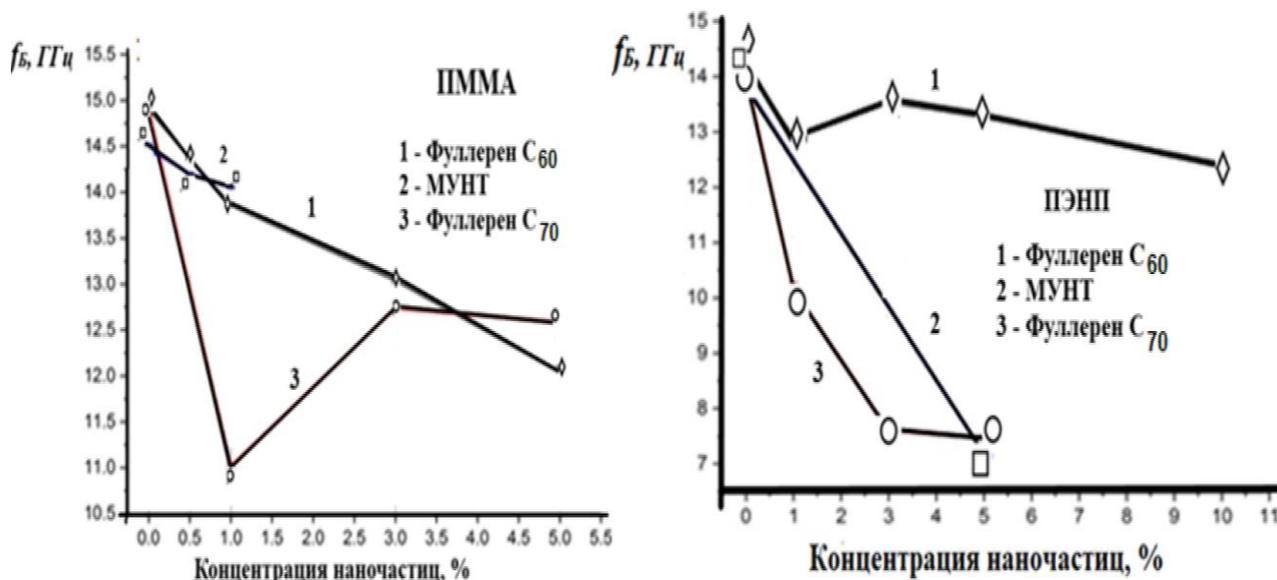


Рисунок 2. Концентрационные зависимости значений пиков бриллюэновских частот для различных типов нанокompозитов на основе ПЭНП и ПММА.

Для частотного сдвига бриллюэновских волн f_B получена, довольно простая зависимость с упругими характеристиками образцов:

$$f_B = \frac{2n\vartheta_L}{\lambda} \quad , \quad (1)$$

где искомые упругие параметры исследуемой среды зависят от скорости продольных акустических волн:

$$\vartheta_L = \sqrt{\left(1 + \frac{2\nu^2}{1-\nu-2\nu^2}\right) \times E/\rho} \quad , \quad \text{либо} \quad \vartheta_L = \sqrt{3K + 4G/3\rho} \quad (2)$$

Здесь ρ , ν , E , K и G - плотность материала, коэффициент Пуассона, модули Юнга и коэффициенты объёмного сжатия и сдвига, соответственно. Таким образом, экспериментально измеряя f_B можно определить, например, величину модуля Юнга как:

$$E = \left(\frac{f_B \lambda}{2n}\right)^2 \times \rho \quad (3)$$

В разделах 3.3 и 3.4 приведены результаты дилатометрических и теплофизических исследований УНКПМ пленок на основе ПММА и ПЭНП, допированных фуллереном C_{60} . Далее расчётным способом ($\chi = \lambda/\rho C_p$) были определены значения коэффициентов температуропроводности компози-тов.

Полученные экспериментальные и расчётные результаты приведены в таблицах 1 и 2, а также на рисунке 3.

Таблица 1. Температурная и концентрационная зависимости плотности $\rho(T)$ (г/см³) и удельной теплоёмкости C_p (Дж/г·К) нанокомпозитов ПЭНП+ C₆₀.

Тем-ра, °С	30		50		60		70		80	
Образец	ρ	C_p								
ПЭНП(исх)	0,8976	0,832	0,903	1,086	0,8915	1,132	0,8600	1,242	0,860	1,265
ПЭНП+1%С ₆₀	0,9096	0,829	0,918	1,068	0,9180	1,154	0,9289	1,260	0,900	1,311
ПЭНП+3%С ₆₀	0,9128	0,785	0,909	0,988	0,8894	1,060	0,9199	1,179	0,9060	1,356
ПЭНП+5%С ₆₀	0,922	0,936	0,870	1,304	0,8855	1,353	0,9073	1,380	0,9144	1,500
ПЭНП+10%С ₆₀	0,9092	0,952	0,887	1,281	0,8836	1,485	0,8616	1,798		

Таблица 2. Температурная и концентрационная зависимости плотности $\rho(T)$ (г/см³) и удельной теплоёмкости C_p (Дж/г·К) нанокомпозитов ПММА+С₆₀

Тем-ра, °С	30		40		50		60		70		80	
Образец	ρ	C_p										
ПММА (исх.)	1,053	1,399	1,064	1,439	1,055	1,478	1,040	1,518	1,034	1,558	1,066	1,598
ПММА-1% С ₆₀	1,063	1,135	1,167	1,100	1,165	1,181	1,124	1,280	1,120	1,380	1,117	1,443
ПММА-5%С ₆₀	1,115	0,998	1,142	1,069	1,089	1,201	1,051	1,334	0,984	1,510	0,965	1,641
ПММА-10% С ₆₀	1,150	0,128	1,141	0,131	1,150	0,133	1,064	0,140	0,972	0,146	0,973	0,151

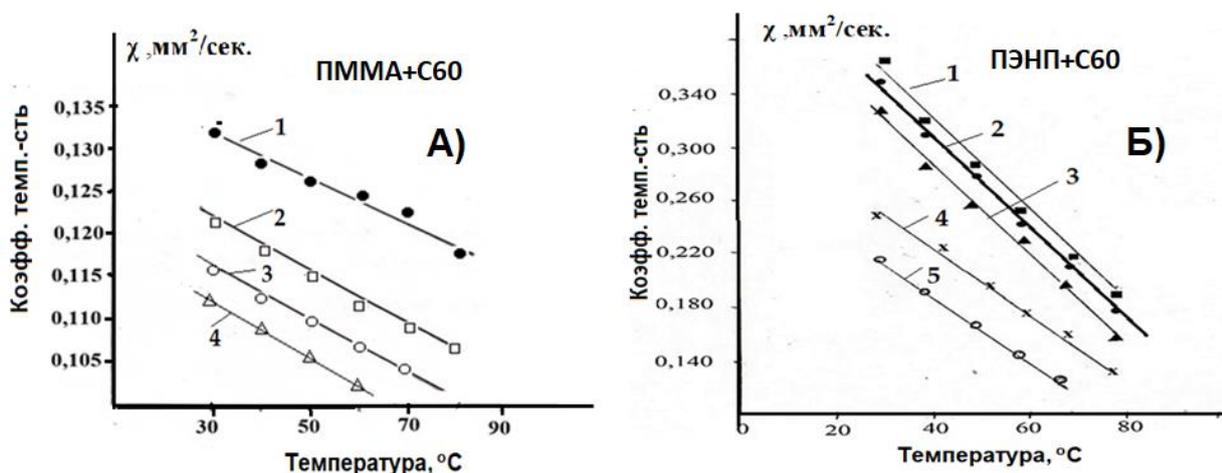


Рисунок 3. Температурные зависимости коэффициента температуропроводности А) ПММА+С₆₀ при разных концентрациях фуллерена: 1) ПММА - чистый; 2) ПММА+1% С₆₀; 3) ПММА+5%С₆₀; 4) ПММА+10 % С₆₀ и Б) ПЭНП+С₆₀: 1) ПЭНП (чистый) - ■ ; 2) ПЭНП+1%С₆₀ - ●; 3) ПЭНП+3%С₆₀ - ▲; 4) ПЭНП+5%С₆₀ - x ; 5) ПЭНП+10%С₆₀ - ○.

В разделе 3.5 изучена температуропроводность композитов ПММА+МУНТ (0.1-1% масс.) методом лазерной вспышки (ЛВ). Квадратичная зависимость параметра χ от толщины образцов является одним из ключевых факторов в точности измерения методом ЛВ:

$$\chi(T) = \frac{1,38 \cdot l_s^2}{\pi^2 \cdot t_{1/2}}, \quad (4)$$

где, l_s - толщина образца, а $t_{1/2}$ - время разогрева тыльной стороны исследуемого образца до половины его максимального значения. Результаты температурной и концентрационной зависимости коэффициента температуропроводности образцов приведены на Рисунок 5.

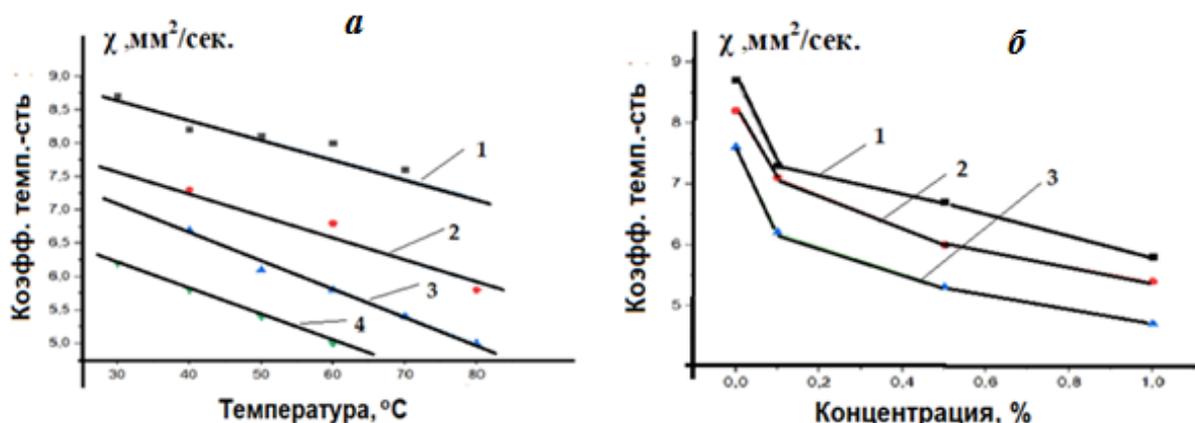


Рисунок 4. Температурная (а) и концентрационная (б) зависимости коэффициента температуропроводности образцов ПММА+МУНТ.

Последующие три раздела диссертационной работы посвящены комплексным исследованиям композитов методами оптической и лазерной фотоакустической (ФА) спектроскопии, а также компьютерному моделированию.

В разделах 3.6-3.8 приведены, результаты спектрофотометрических исследований образцов ПММА, ПЭНП, ПС, содержащих наночастицы углеродные добавки (C_{60} , C_{70} и МУНТ). Исследования спектров поглощения и отражения образцов проводились в диапазоне длин волн 200÷800 нм. На последующих рисунках 5-7 приведены некоторые полученные результаты спектрофотометрических исследований (спектров поглощения) для каждой группы исследуемых образцов плёнок УНКПМ.

В целом, в спектрах поглощения всех исследуемых образцов плёнок УНКПМ, наблюдаются увеличение поглощательной способности в сторону более высокочастотной (УФ) области спектра с ростом концентрации углеродных наночастиц, что было отмечено по результатам предварительного визуального анализа. Получены характерные пики поглощения в области 227 нм для ПС+МУНТ; в области 598,5; 597; 603 и 600 (нм) для образцов ПС+ C_{60} и в области 380; 480; 645 (нм) для образцов ПС+ C_{70} .

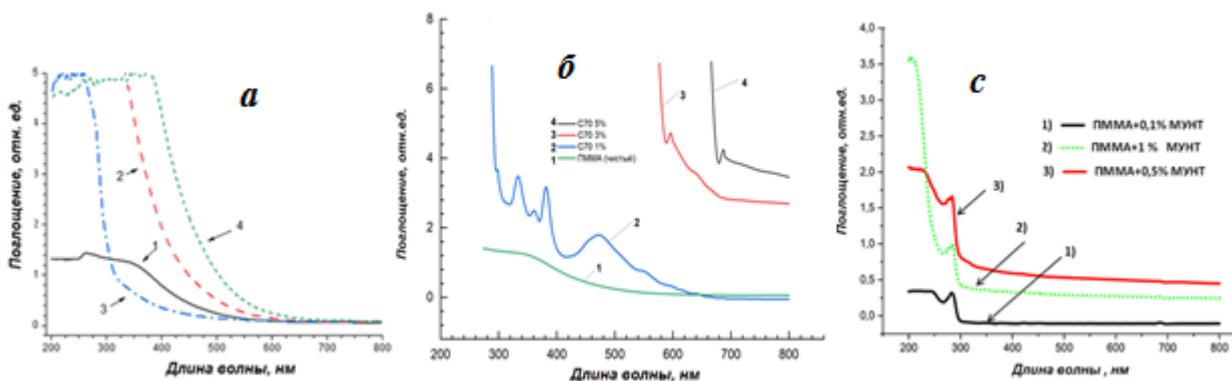


Рисунок 5. Спектр поглощения образцов плёнок УНКПМ на основе ПММА в диапазоне 200÷800 (нм). **а**- ПММА+С₆₀: 1- ПММА чистый; 2- ПММА+1%С₆₀; 3 - ПММА+3% С₆₀; 4- ПММА+5%С₆₀; **б**- ПММА+С₇₀: 1- ПММА (чистый); 2 - ПММА+1%С₇₀; 3- ПММА+3%С₇₀; 4- ПММА+5%С₇₀ ; **с**- ПММА+МУНТ: 1- ПММА+0,1% МУНТ; 2-ПММА+0,5% МУНТ; 3- ПММА+1% МУНТ.

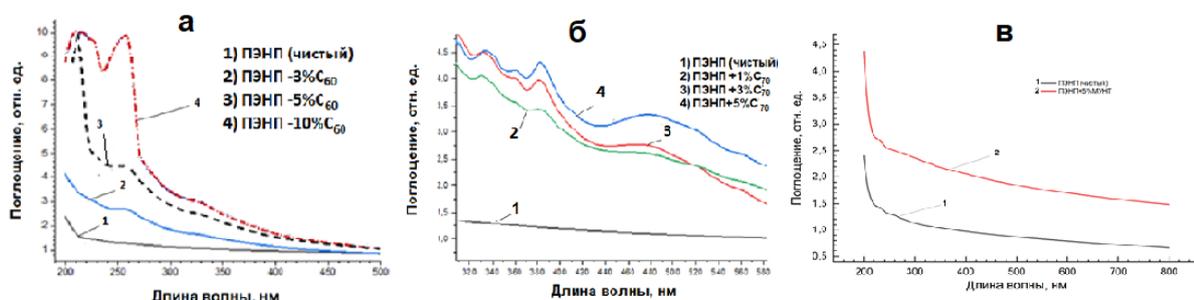


Рисунок 6. Спектр поглощения образцов плёнки УНКПМ на основе ПЭНП в диапазоне 200÷800 (нм). **а**- ПЭНП+С₆₀: 1- ПЭНП (чистый); 2- ПЭНП+3%С₆₀; 3- ПЭНП+5%С₆₀; 4- ПЭНП+10%С₆₀; **б**- ПЭНП+С₇₀: 1- ПЭНП (чистый); 2 - ПЭНП+1%С₇₀; 3 - ПЭНП+3%С₇₀; 4 - ПЭНП+5%С₇₀; **с**- ПЭНП+МУНТ: 1 - ПЭНП (чистый), 2 - ПЭНП+5%МУНТ.

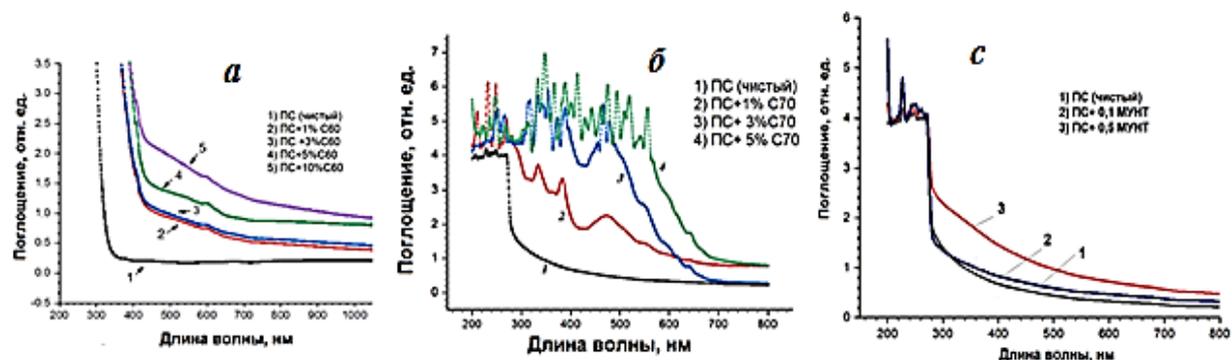


Рисунок 7. Спектр поглощения образцов плёнки УНКПМ на основе ПС в диапазоне 200÷800 (нм). **а** - ПС+С₆₀: 1 - ПС чистый; 2 - ПС+1% С₆₀; 3 - ПС+3%С₆₀; 4 - ПС+5%С₆₀; 5 - ПС+10%С₆₀; **б**- ПС+С₇₀: 1 - ПС чистый; 2 - ПС+1%С₇₀; 3 - ПС+ 3% С₇₀; 4 - ПС+5% С₇₀. **с**- ПС+МУНТ: 1 - ПС чистый; 2 - ПС+0,1%МУНТ; 3 -ПС+0,5%МУНТ.

В разделе 3.9 на примере нанокompозитов ПС+С₆₀ были проведены исследования влияния наночастиц С₆₀ на величину энергии ширины запрещённой зоны методом Тауца (Рисунки 8,9). Показано, что при переходе от чистого образца ПС с энергией ширины запрещённой зоны E_g 4,2 эВ, к образцу с 10%-м содержанием фуллерена С₆₀, E_g уменьшается почти в 1,5 раза (2,5 эВ).

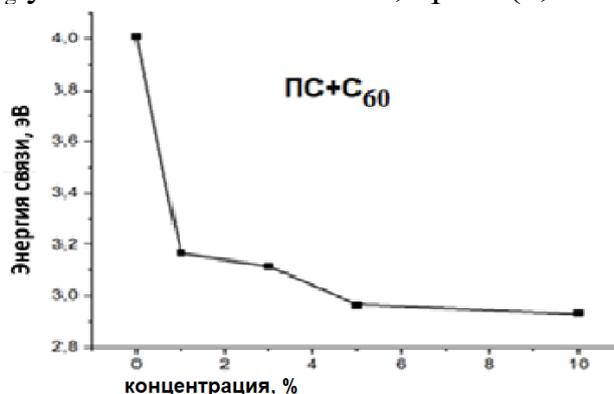
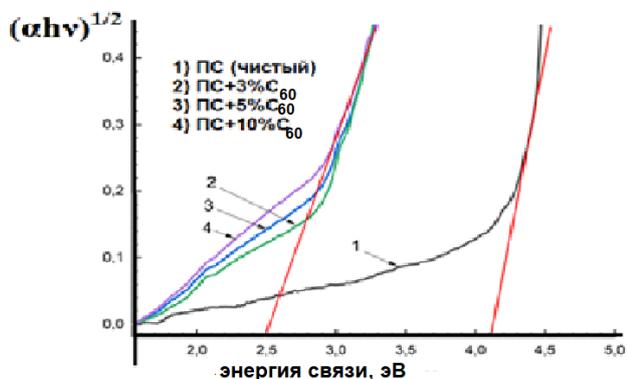


Рисунок 8. Влияние наночастиц фуллерена С₆₀ на энергию ширины запрещённой зоны полистирола

Рисунок 9. Зависимость энергии ширины запрещённой зоны композитов ПС-С₆₀ от концентрации наполнителя.

л 3.10 посвящен исследованию люминесцентных свойств УНКПМ на основе ПС и ПММА, модифицированных наночастицами МУНТ с массовой концентрацией 0,1-1%. Фотолюминесцентные спектры для обеих групп нанокompозитов приведены на рисунке 9.

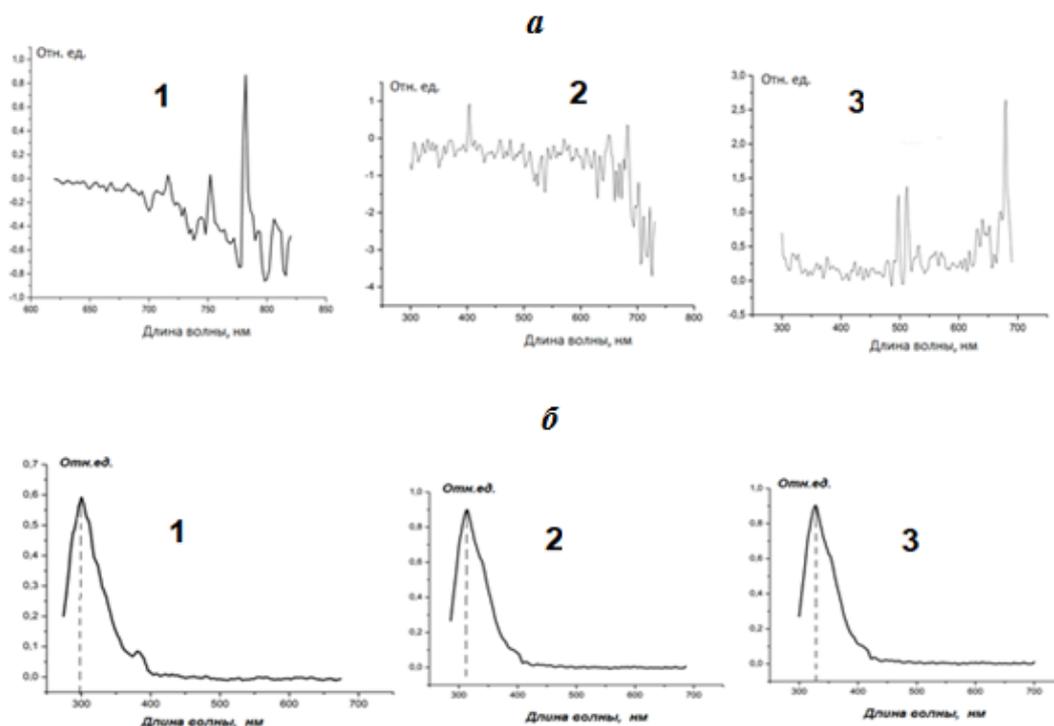


Рисунок 9. Спектры фотолюминесценции плёнок УНКПМ. а- ПММА+МУНТ: 1) ПММА-чистый; 2) ПММА+0,1%МУНТ; 3) ПММА+1%МУНТ. б- ПС+МУНТ: 1) ПС+0,5%МУНТ; 2) ПС+0,1%МУНТ; 3) ПС-чистый.

В спектрах люминесценции образцов ПММА+МУНТ наблюдается сдвиг максимума полосы ФЛ ПММА в область 613-614 нм. Влияние нанодобавок на

спектры люминесценции композитов связаны с образованием различных центров свечения, зависящих от концентрации наночастиц и их распределения в полимерной матрице. Исследования показывают, что максимум интенсивности свечения композитов, в основном, находятся в диапазоне длин волн 300-700 нм и увеличение концентрации МУНТ от 0,1 до 1% приводит к увеличению люминесцентных пиков свечения от 1,5 до 3 раз.

В разделе 3.11 приведены результаты, полученные методом лазерной фотоакустики с микрофонной схемой регистрации. Анализируются особенности применения лазерного ФА метода при исследовании ряда теплофизических и оптических свойств УНКМП. Показано, что для рассматриваемых образцов углеродсодержащих нанокompозитных полимерных плёнок сильно меняются соотношения (комбинация) между ФА параметрами l_s , μ_s и μ_β , где: l_s - толщина образца; $\mu_g = (2\chi/\omega)^{1/2}$ - длина тепловой диффузии (χ – коэффициент температуропроводности, $m^2/сек$, $\omega = 2\pi f$ - частота модуляции оптического излучения, $Гц$) и $\mu_\beta = 1/\alpha$ - толщина оптического поглощения, где α - коэффициент оптического поглощения. Поэтому усложняются вычислительные процессы и выбор оптимального частного случая, согласно рассматриваемой ФА теории.

В разделе 3.11.1 рассмотрена теория фотоакустического эффекта с микрофонной регистрацией и обосновано применение теории Розенцвейга-Гершо применительно к исследованию ФА свойств полимерных композитов. проведено компьютерное моделирование ФА процессов.

В разделе 3.11.2 на базе современного языка объектно-ориентированного программирования (Borland Delphi) разработана компьютерно-моделирующая программа «Фотоакустика», которая позволила более оперативно решать ФА задачи, оптимизируя, таким образом, проведения реальных ФА экспериментов.

ВЫВОДЫ

1. Методами АСМ, бриллюэновской спектроскопии и дилатометрии исследовано влияние наночастиц фуллерена C_{60} , C_{70} и нанотрубок МУНТ на морфологию поверхности, смещения частот пиков рассеяния и теплофизические свойства ПММА и ПЭНП. Показано, что морфология поверхности ПММА и ПЭНП меняются сложным образом в зависимости от типа нанонаполнителей и их концентрации; структура поверхности композитов ПММА+МУНТ более неравномерна по сравнению с композитами ПММА+ C_{60} .

2. Установлено, что значение бриллюэновских частот пиков рассеяния для композитов на основании ПММА и ПЭНП при изменении концентрации наполнителей (МУНТ, C_{60} и C_{70}) смещаются в область низких частот, причем характер кривых зависит от природы полимера типа наночастиц и их концентрации.

3. Методом дилатометрии исследовано влияние фуллерена C_{60} на теплофизические свойства ПЭНП и ПММА. Показано, что температуро-

поводность наноуглеродсодержащих композитов линейно уменьшается как с ростом температуры, так и ростом концентрации. Предложен механизм уменьшения температуропроводности при внедрении малых добавок C_{60} , связанный с рассеянием фононов на кристаллитах, наночастицах, микро-порах и пустотах.

4. Исследованы спектры поглощения композитов ПММА, ПЭНП и ПС с разными концентрациями наноуглеродов C_{60} , C_{70} и МУНТ в области длин волн 200-800 нм. Выявлено, что оптические спектры поглощения нанокompозитов на основе указанных полимерных матриц меняются в зависимости от вида наночастиц и их концентрации, проявляющиеся в изменении интенсивности, появлении новых полос и сдвигу их краев.

5. По спектру поглощения для прямых разрешённых переходов ($E_F \geq E_g$), определена энергия ширины запрещённой зоны E_g исследуемых образцов ПС. Значение ширины запрещенной зоны уменьшается с увеличением концентрации C_{60} (от 4,2 эВ, для чистого ПС до 2,5 эВ для композита ПС+10% C_{60}).

6. Методом линейной лазерной ФА спектроскопии с микрофонной схемой регистрации, проведен необходимый теоретический анализ и расчёт для определения фундаментальных теплофизические и оптических свойств плёнок УНКПМ; получено расчетное выражение для величины комплексной амплитуды ФА сигнала и характеры её частотной зависимости для различных частных случаев.

7. В рамках классической линейной теории ФА спектроскопии с микрофонной схемой регистрации, на базе теории Розенцвейга-Герша (РГ-теория) получено теоретическое выражение для углеродных нанокompозитных прозрачных и полупрозрачных пленок. Получены расчетные выражения амплитуды ФА для оптически толстых и оптически тонких подложек.

8. Разработана моделирующая программа «Фотоакустика» на базе языка высокого уровня Borland Delphi, на основе РГ-теории, которая позволяет произвести численный ФА эксперимент и оперативно решать задачи по исследованию фотоакустических свойств НУКМП.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРАКТИЧЕСКОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ

1. Показано, что физико-химические свойства полимерных нанокompозитов формируются уже на стадии их технологического формирования. Это важно для физиков и химиков-технологов, занимающихся в области разработки технологии получения полимерных нанокompозитов, с заданными свойствами.

2. Разработанные и усовершенствованные новые теоретические методы компьютерных моделирующих программ для углероднаполненных полимерных композитов и подобных им материалов позволяют произвести численные расчеты реального эксперимента с целью обеспечения

регулируемой оптической поглотительной способности в различных устройствах оптического назначения.

СПИСОК НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Статьи, опубликованные в научных журналах, рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан

[1-А] **Мирзо, А.** Особенности фотоакустических методов исследования теплофизических свойств нанокompозитных полимерных материалов / Д.М.Шарифов, А. Мирзо, Н.И Темиркулова, Ж.Т. Оспанова, Ш. Туйчиев, А.З. Бекешев // Вестник ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, 2016. - Ч.1. - №6 (115). - С.258 -265;

[2-А] **Мирзо, А.** Компьютерное моделирование линейных фотоакустических процессов / А Мирзо, Д.М. Шарифов // Политехнический вестник, серия: Инженерные исследования», Душанбе, 2018. -С.4-8;

[3-А] **Mirzo, A.** Laser photoacoustics method for determination of the coefficients of thermal conductivity and thermal diffusivity of materials / G.T. Merzadinova, K.E. Sakipov, D.M. Sharifov, A. Mirzo, A.Z. Bekeshev //, *Eurasian physical technical journal, Karaganda State University, Kazakhstan*, 2019. -V.16. - No.1(31). - P.83-88. (*Scopus*);

[4-А] **Мирзо, А.** Результаты бриллюэновской спектроскопии полимерных нанокompозитных плёнок на основе ПММА и ПЭНП / Ш. Туйчиев, А. Мирзо, Д. Рашидов., Д.М. Шарифов, С.Х. Табаров // Журнал «Вестник Таджикского национального университета», серия естественных наук, 2021. -№2. -С.67-69;

[5-А] **Мирзо, А.** Температуропроводности фуллеренсодержащего полиэтилена / А. Мирзо, Дж Рашидов. Д.М. Шарифов, Т.Х. Салихов, С. Табаров, Ф.Х. Содиков // Журнал «Доклады национальной академии наук Таджикистана», 2021. -Т. 64, -№5-6, -С. 303-307;

[6-А] **Мирзо, А.** Влияние фуллерена C₆₀ на температуропроводность полиметилметакрилата / А. Мирзо, Дж. Рашидов, Д.М. Шарифов, Т.Х. Салихов, С. Табаров, Ф.Х. Содиков // Доклады национальной академии наук Таджикистана, 2022. -Т. 65, -№1-2, -С. 63-68;

[7-А] **Мирзо, А.** Исследование спектров поглощения углеродсодержащих нанокompозитных полимерных плёнок на основе полиметилметакрилата // А. Мирзо/ Вестник Дангаринского государственного университета», 2024. -№2(28), -С.66-78;

[8-А] **Mirzo, A.** The Study of Composite Materials Properties Based on Polymers and Nano-Additives from Industrial Wastes from Kazakhstan / D. Sharifov, R. Niyazbekova, A.Mirzo, et.al.// *Materials*, 2024. -V.17, -№12, 2959. -P. 1-26. (*WoS, Scopus*). <https://doi.org/10.3390/ma17122959>.

2. Статьи, опубликованные в материалах международных и республиканских конференций

[9-А] **Мирзо, А.** Исследование оптических и теплофизических углеродных нанокompозитных полимерных материалов / Д.М. Шарифов, Ш.Туйчиев, **А. Мирзо**, Г.Э Сагындыкова // Международная научно-практическая конференция: «Аузовские чтения-13», г. Шымкент, ЮКГУ им. М. Ауезова, 2015, -С.246 -249.

[10-А] **Мирзо, А.** Теплофизические свойства полимерных материалов применяемых при изготовлении волоконно-оптических кабелей. / А.Т Дюсенова, **А. Мирзо**, З.Б. Мухтарова, К.Е. Еремекбаева, Э.Г. Пак// Сборник Материалов X-я Международная научная конференция студентов и молодых учёных «Наука и образование – 2015», Казахстан, Астана, 2015.- С. 258- 261.

[11-А] **Мирзо, А.** Моделирование термомеханических свойств полимерных волоконно-оптических кабелей. / З.Б Мухтарова, **А. Мирзо**, А. Т. Дюсенова, Э.Г. Пак// Сборник Материалов XI Международная научная конференция студентов, магистрантов и молодых ученых «Ломоносов - 2015», Казахстан, Астана, 2015. - С. 101-102.

[12-А] **Мирзо, А.** Фотоакустическое исследование оптических и теплофизических свойств полимерных нанокompозитных материалов / Д.М. Шарифов, **А. Мирзо**, Т.Х. Салихов, У Мадвалиев // Материалы XIII Международной научной конференции «Физика твёрдого тела», посвящённой 20 - летию Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилёва, Астана, Казахстан, 26-28 апреля, 2016 г. -С. 58-59.

[13-А] **Мирзо, А.** Исследование люминесцентных свойств нанокompозитных полимерных плёнок на основе ПЭНП+МУНТ / Г.Е. Сагындыкова, **А. Мирзо**, Ш. Туйчиев и др. // Материалы XIII Международной научной конференции «Физика твёрдого тела», посвящённой 20 - летию Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилёва, Астана, Казахстан, 26-28 апреля, 2016 г. - С. 84-85.

[14-А] **Мирзо, А.** Численные моделирования лазерных фотоакустических экспериментов / **А. Мирзо**, Н.Б. Оралбеков, А.А. Калмуратов // сборник материалов XI Международной научной конференции студентов и молодых ученых «Наука и образование-2017», 2017. -С. 437- 440.

[15-А] **Мирзо, А.** Экспериментальная установка для исследования теплофизических свойств углеродных нанокompозитных полимерных материалов методом фотоакустической спектроскопии / Д.М. Шарифов, Н.И. Темиркулова, **А. Мирзо**, и др. // Инновации в науке, 2017. - №3(64).- С. 47-51.

[16-А]. **Мирзо, А.** Экспериментальная установка для исследования теплофизических свойств углеродных нанокompозитных полимерных материалов методом фотоакустической спектроскопии / Ж.Т. Оспанова, **А. Мирзо**// Сборник материалов XII Международной научной конференции

студентов и молодых учёных «Наука и образование -2017», Астана, Казахстан, 2017, -С. 494 - 498.

[17-А] **Мирзо, А.** Фотометрические исследования нанокompозитных полимерных материалов на основе полистирол +фуллерен C₆₀ / Н.Б. Тулебаева, **А. Мирзо** // Сборник материалов XII Международной научной конференции студентов и молодых учёных «Наука и образование -2017», Астана, Казахстан, 2017. -С. 508-512.

[18-А] **Мирзо, А.** Численные моделирования лазерных фотоакустических экспериментов // **А. Мирзо, О. Нуржан, К. Акимжан**// Сборник материалов XII Международной научной конференции студентов и молодых учёных «Наука и образование -2017», Астана, Казахстан, 2017, - С.437-440.

[19-А] **Мирзо, А.** //Определение коэффициента температуропроводности прозрачных и полупрозрачных материалов методом лазерной фотоакустики / **А.Мирзо, Н.И. Темиркулова, Д.М. Шарифов, Ж. Оспанова** // VI Международной научно-практической конференции: «Актуальные проблемы транспорта и энергетики: пути их инновационного решения», Астана, Казахстан, 2018. -С.734-738.

[20-А]. **Мирзо, А.** Исследование влияние концентрации углеродных наночастиц на физические свойства полимерных нанокompозитных пленок / Б.Е. Ержанова, Ж.Т. Мырзабекова, **А. Мирзо** // Сборник Материалов XIII Международная научная конференция «Наука и образование - 2018», Астана, Казахстан, 2018. -С.612-614.

[21-А] **Мирзо, А.** Исследование теплофизических свойств некоторых композитных полимерных материалов / Ж.Т. Оспанова, **А. Мирзо** // Сборник Материалов XIII Международная научная конференция «Наука и образование - 2018», Астана, Казахстан, 2018. - С.535-538.

[22-А] **Мирзо, А.** Физико-химические методы получения угле-родных нанокompозитных полимерных пленок и исследование их структурные свойства / Г.Г. Сарсехан, **А. Мирзо** // Сборник Материалов XIII Международная научная конференция «Наука и образование - 2018», Астана, Казахстан, 12 апреля 2018 года. -С. 686-689.

[23-А] **Мирзо, А.** Бриллюэновская спектроскопия полимерных нанокompозитных плёнок на основе ПММА и ПЭНП/ **А. Мирзо**// Материалы республиканской научно-практич. конференци, Душанбе, 2020. - С.67-69.

[24-А] **Мирзо, А.** Исследование спектрофотометрических и люминесцентных свойств образцов углеродных нанокompозитных полимерных материалов / Г.Е. Сатаева, А.А. Баратова, **А. Мирзо, Р.К. Ниязбекова** и др. // Материалы XV-й Международной научной конференции «Физика твёрдого тела», г. Астана, Казахстан, 2022. - С. 129-131;

[25-А] **Мирзо, А.** Исследование температуропроводности фуллеренсодер-жащего полиэтилена / Д. Рашидов, **А. Мирзо, Д.М Шарифов, Т.Х. Салихов, Р. Кодиров** // Материалы республиканской

научно-теоретической конференции, посвящённой «30-летию Государственной независимости Республики Таджикистан», Душанбе, 2021. - С. 123-125;

[26-А] **Мирзо, А.** Температуропроводность фуллеренсодержащего полиметилметакрилата /**А. Мирзо**, Дж. Рашидов, Т.Х. Солехов, С. Табаров и др. // Международная научно-практическая конференция «Перспективы развития исследований в области химии координационных соединений и аспекты их применения», 30-31 марта, Душанбе, 2022, -С.279-281.

ДОНИШГОҲИ МИЛЛИИ ТОҶИКИСТОН

Бо ҳукуки дастнавис

ВБД: 539.18

АВАЗИ МИРЗО

**ТАҲҚИҚИ ТАЪСИРИ ФУЛЛЕРЕНҲО ВА НАНОЛУЛАҲОИ
КАРБОНӢ БА СОҲТОР ВА ХОСИЯТҲОИ ФИЗИКИИ БАЪЗЕ
ПОЛИМЕРҲОИ АМОРФӢ ВА КРИСТАЛӢ**

Автореферати

**рисола барои дарёфти дараҷаи илмӣи номзоди илмҳои физикаю математика
аз рӯйи ихтисоси 01.04.07 – Физикаи муҳитҳои конденсӣ**

Душанбе - 2024

Диссертатсия дар озмоишгоҳи физикаи муҳитҳои конденсии ба номи д.и.ф.-м., профессор Б. Н. Нарзуллоевии Институти илмӣ-таҳқиқотии назди Донишгоҳи миллии Тоҷикистон иҷро шудааст.

Роҳбари илмӣ:

Рашидов Чалил, доктори илмҳои физикаю математика, профессори кафедраи физикаи ҷисмҳои сахти Донишгоҳи миллии Тоҷикистон.

Муқарризони расмӣ:

Ногай Адольф Сергеевич, доктори илмҳои физикаю математика, профессори кафедраи радиотехника, электроника ва телекоммуникатсияи Донишгоҳи таҳқиқотии агротехникии Қазоқистон ба номи С. Сейфуллин.

Эгамов Мухтор Ҳасанович- номзади илмҳои физикаю математика, ХКИ, мудири озмоишгоҳи маркази илмии Хучанди Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон.

Муассисаи пешбар:

Институти химияи ба номи В.И.Никитини Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон.

Ҳимояи диссертатсия санаи «11» сентябри соли 2024, соати 14:00 дар ҷаласаи шурои диссертатсионии 6Д.КОА-056 назди Донишгоҳи миллии Тоҷикистон бо суроғи 734027, ҶТ, ш. Душанбе, маҳаллаи Буни Ҳисорак, факултети физика, бинои таълимии №16, синфхонаи 206 баргузор мегардад.

Бо муҳтавои диссертатсия тавассути сомонаи www.tnu.tj ва дар китобхонаи марказии Донишгоҳи миллии Тоҷикистон бо нишони 734025, ш. Душанбе, хиёбони Рӯдакӣ 17 шинос шудан мумкин аст.

Автореферат рӯзи «_____» _____ соли 2024 ирсол шудааст

Котиби илмӣ шурои диссертатсионии
6Д.КОА-056, н. и. ф.-м., дотсент



Исломов 3.3.

МУҚАДДИМА

Мубрамияти мавзуи таҳқиқ. Тавре маълум аст, тамоюли асосии рушди маводшиносии муосир, аз ҷумла маводҳои полимериасос, аз ҳосил кардани маводҳои нави композитсионии дорои хосиятҳои беҳтаргардонидашудаи физикию кимиёвӣ ва коршоёми технологи ба ҳисоб меравад. Тули даҳсолаҳои охир ин тамоюл аз ҳисоби пайдоиши усулҳо ва технологияи нави истеҳсоли маводҳои нави композитӣ бо истифода аз зарраҳои гуногуни микро- ва нанодисперсия аҳаммияти бештар пайдо кардааст. Ҳамин тариқ, илова кардани зарраҳои гуногуни микро- ва наноандоза ба таркиби (матритсаҳои) полимерҳои якҷинсаи тоза, боиси ба вучуд овардани маводҳои нави нанокомпозитӣ ва раванди нави дар илми маводшиносӣ гардидааст.

Илова намудани концентратсияи ками зарраҳои нанокарбонӣ (аз қабилӣ графенҳо, графеноксидҳои гуногун, фуллеренҳо, нанолулаҳо ва ғ.) ба матритсаи полимерӣ боиси тағйиротҳои назарраси хосиятҳои сохторӣ, механикӣ, физикию-кимиёвӣ ва технологияи бисёр полимерҳои аслии гардида, ба ҳосил кардани нанокомпозитҳои полимери карбонии дорои хосиятҳои «назоратшаванда» оварда мерасонад. Хусусан, қайд кардан лозим аст, ки ҳосил кардани маводҳои полимери нанокомпозитии карбондошта дар асоси полимерҳои маъмули васеъ истифодашаванда, аз қабилӣ полиэтиленӣ зичиаш кам (ПЭЗК), полиметилметакрилат (ПММА) ва полистирол (ПС) аҳаммият ва таваҷҷуҳи хоса доранд.

Дарачаи омӯхташудаи муаммои илмӣ, асосҳои назаравию методологии зинаҳои таҳқиқот. Доир ба мавзуи диссертатсия бисёр олимони ватанию хориҷӣ корҳои зиёди илмӣ бунёдиро иҷро кардаанд. Дар ин корҳо асосан хосиятҳои нанозараҳои карбондори аллотропӣ омӯхта шуда, онҳоро ба сифати наноиловаҳо дар матритсаҳои полимерҳои аслии истифода бурданд. Тавассути ин васила МПНКК-и дорои хосиятҳои муайянро ҳосил кардаанд.

Муаммоҳои ҳамтаъсири нанозараҳои карбондор (НЗК) бо матритсаи полимерӣ бисёрҷанба ва хеле мураккаб буда, асосан характери квантӣ доранд. Аз ин рӯ, усулҳои анъанавии таҳқиқоти “классикӣ” на ҳамеша барои таҳқиқи муфассали онҳо мувофиқанд. Бинобар ин, зарурати истифодаи усулҳои нави таҳқиқоти МПНКК ба миён меояд. Таҳқиқотҳои таҷрибавӣ дар диссертатсияи мазкур гузаронидашаванда, асосан, ба истифодаи усулҳои зерин ҳамбастагӣ доранд:

Микроскопияи атомӣ-кувағӣ (МАК), ҷилои лазерӣ (ҶЛ), фотоакустикаи лазерӣ (ФА), дилатометрия, парканиши бриллюэни (БР), оптикӣ ва спектроскопияи люминестсентӣ. Дар раванди таҳқиқоти таҷрибавӣ аз таҷҳизотҳои муосири сатҳи ҷаҳонӣ барои таҳқиқи баъзе хосиятҳои бунёдии намунаҳои баррасишавандаи МПНКК (сохторӣ, механикӣ ва гармофизикӣ). истифода бурда шуд.

Ҳангоми дар бораи дарачаи омӯхта шудани маводҳои полимери нанозараҳои карбондори МПНКК суҳан рондан қайд кардан лозим аст,

ки онҳо ба ғайр аз таваҷҷуҳи бунёдии илмӣ-таҳқиқотӣ боз таваҷҷуҳи зиёди амалӣ низ доранд. Мусаллам аст, ки дар ҳаҷон сол ба сол ҳаҷми маблағгузорӣ барои тичоратикунонии лоиҳаҳои илмӣ характери амалидошта бо мақсади ҳосил кардани МПНКК-и навъи дорои характеристикаҳои муайян рӯз ба рӯз афзуда истодааст.

Алоқамандии мавзӯи таҳқиқ бо лоиҳаҳо ва мавзӯҳои илмӣ.

Диссертатсияи тули солҳои 2015-2024 дар мувофиқа бо корҳои илмӣ-таҳқиқотии Озмоишгоҳи физикаи муҳитҳои конденсии ба номи Б.Н. Нарзуллоевии Институти илмӣ-таҳқиқотии назди Донишгоҳи миллии Тоҷикистон дар доираи мавзӯҳои «Таҳқиқи сохтор ва хосиятҳои физикии системаҳои конденсии нанокарбондор» барои солҳои 2014-2018, таҳти рақами қайди давлатии 0114ТJ00358 ва лоиҳаи «Сохтор ва хосиятҳои физикии системаҳои конденсии бо нанокарбон ғанӣ гадонидашуда» барои солҳои 2019-2024, таҳти рақами қайди давлатии 0114ТJ01006 иҷро шудааст.

Мавзӯи диссертатсия ба Номгӯи самтҳои афзалиятноки таҳқиқоти илмӣ ва илмӣ-техникии тули солҳои 2015-2024 (Қарори Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон №705 аз 4-уми декабри соли 2014) ва дар давраи солҳои 2021-2025 (Қарори Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон №503 аз 2-юми сентябри соли 2020) дар Ҷумҳурии Тоҷикистон анҷом додашаванда мувофиқат мекунад.

ТАВСИФИ УМУМИИ ТАҲҚИҚ

Мақсади таҳқиқи диссертатсионӣ. Ҳадафи асосии таҳқиқи илмӣ баррасӣ ва муайян намудани таъсири фуллеренҳои C_{60} , C_{70} ва нанолулаҳои карбонӣ ба сохтор ва хосиятҳои физикии баъзе маводҳои нанокмпозитии полимериасос (ПММА, ПС) ва кристаллиасос (МЭЗК) мебошад.

Объекти таҳқиқ. Ба сифати маводи таҳқиқотӣ намунаҳои нанокмпозитҳои карбондори дар асоси полимерҳои кристаллии полиэтилен зичиаш кам (ГОСТ 16337-77) массаи молекулавиаш $M=6 \times 10^4$; полимерҳои аморфии ПММА (ГОСТ 16667-74), массаи молекулавиаш $M=8 \times 10^4$ ва полистироли (ПС) маркаи 143Е-и (ГОСТ 20282-74) массаи молекулавиаш $M=28 \times 10^4$ интихоб шудаанд. Ҳама намунаҳо дар шакли пардаҳои тунуки шаффоф ва нимшаффоф аз маҳлулҳо дар ҳалқунандаҳои гуногуни (толуол, изомерҳои ксилол, дихлорбензол, бромбензол) маркаи химиявии тоза «ХЧ» ҳосил карда шудаанд. Фуллеренҳои C_{60} , C_{70} ва НКБ (нанолулаҳои карбонии бисёрқабата) ба сифати нанозарраҳои иловашаванда истифода гардидаанд, ки консентратсияи онҳо дар соҳаи 0,1-10 % масса тағйир меёбад.

Мавзӯи таҳқиқ аз муайян намудани таъсири консентратсияи ками нанозарраҳои карбонӣ (фуллеренҳои C_{60} , C_{70} ва НКБ) ба тағйироти хосиятҳои бунёдии оптикӣ, гармофизикӣ, механикӣ ва сохтори намунаҳои полимерҳои нанокмпозитии карбондор иборат мебошад.

Вазифаҳои таҳқиқ. Барои расидан ба мақсади ниҳой дар рисола ҳалли масъалаҳои зерин дар назар дошта шудааст:

– сохтори морфологии сатҳи намунаҳои МПНКК-и дар асоси полимерҳои полиметилметакрилат (ПММА) ва полиэтиленӣ зичиаш кам (ПЭЗК) ҳосилкардашуда бо истифодаи усули микроскопияи атомӣ-қуввагӣ;

– ҳосиятҳои чандирии намунаҳои композитии ПММА ва ПЭЗК-и бо маводҳои нанокarbonӣ ғайр гардонидашуда бо истифода аз усули спектроскопияи бриллюэни;

– ҳосиятҳои гармофизикии намунаҳои композитии полимерҳои ПММА ва ПЭЗК-и бо маводҳои нанокarbonӣ ғайршуда бо истифода аз усулҳои дилатометрӣ, калориметрияи дифференсиалии сканерӣ ва ҷилои лазерӣ;

– ҳосиятҳои спектрофотометрӣ ва люминестсентии намунаҳои композитҳои ПММА, ПС ва ПЭЗК;

– ҳосиятҳои фотоакустикии намунаҳои композитҳои полимерҳои ПММА ва ПЭЗК-и нанокarbonдор бо истифода аз усули моделсозии компютерӣ ва ҳисоби ададӣ.

Усулҳои таҳқиқ. Дар диссертатсияи мазкур усулҳои зерини таҳқиқоти физикӣ истифода шудаанд: микроскопияи атомӣ-қуввагӣ (МАҚ), спектроскопияи оптикӣ (спектрофотометрӣ ва фотолюминестсентӣ), спектроскопияи пароканиши бриллюэни, дилатометрия, ҷилои лазерӣ, спектроскопияи лазерии фотоакустикӣ, усулҳои моделсозии компютерӣ ва ҳисобҳои ададӣ.

Навоварии илмӣ таҳқиқ:

– сохтори морфологии сатҳи композитҳои дар асоси полимерҳои ПММА ва ПЭЗК-и ҳосилшуда аз навъи нанозарраҳои carbonии иловашуда ва консентратсияи онҳо вобастагии мураккаб дорад;

– ҳароратноқилияти полимерҳои нанокompозитии дар асоси ПЭЗК ва ПММА ҳосилшуда бо афзоиши ҳам температура ҳам консентратсия ба таври хаттӣ коҳиш меёбад;

– вобастагии консентратсионии бузургии энергияи паҳноии минтақаи мамнуи (E_g) композитҳо дар асоси ПММА ва ПС муқаррар гардид. Тамоюли умумии коҳиши E_g бо афзоиши консентратсияи зарраҳои нанокarbonӣ дар композит муайян карда шуд;

– бо истифода аз усули фотоакустикаи (ФА) лазерӣ бо схемаи бақайдгирии микрофонӣ, як қатор тавсифдиҳандаҳои оптикӣ, гармофизикӣ ва акустикии намунаҳои МПНКК муайян карда шуданд. Таносубҳои байни параметрҳои асосии ФА барои ҳар композит ёфта шуд. Муқаррар гардид, ки таносубҳои параметрҳои ФА аз ҳолати “оптикӣ шаффоф” (полимерҳои ибтидоӣ) ба ҳолати “оптикӣ ношаффоф” (МПНКК) мегузаранд;

– барномаи моделсозии компютерӣ барои гузаронидани ҳисобҳои ададии ФА таҳия гардида, имконият медиҳад, ки вобастагии параметрҳои

сигнали ФА аз тавсифдиҳандаҳои оптикӣ ва гармофизикии МПНКК таҳил карда шаванд.

Аҳамияти назариявӣ таҳқиқ аз таҳия ва такмили усулҳои нави назариявӣ барои таҳлили натиҷаҳои таҷрибавӣ ва ҳосил кардани наносохторҳои нави полимерии карбондор иборат мебошад. Дар заминаи назарияи бунёдии усули ФА бо схемаи бақайдгирии микрофонӣ ҳолатҳои хусусии истифодаи он дар намунаҳои пардаҳои МПНКК-и ҳосил карда шуданд. Барномаи моделсозии компютерӣ барои гузаронидани ҳисобҳои адабии ФА ва таҳқиқи хосиятҳои гуногуни МПНКК бо усули фотоакустикаи лазерӣ таҳия гардидааст.

Аҳамияти амалии таҳқиқ.

1. Яке аз тамоюлҳои асосии раванди технологияи муосир аз ҳосил кардани элементҳои андозаҳои геометрии хурддошта (дар соҳаҳои опто-ва наноэлектроника, нанофотоника ва ғ.) иборат мебошад. Дар диссертатсия технологияи истеҳсоли композитҳои нанокарбондор дар асоси пардаҳои тунуки полимерӣ кор кард гардида, сохтор ва хосиятҳои физикуи онҳо таҳқиқ шуданд;

2. Морфологияи сохтори сатҳи намунаҳо таҳқиқ шуданд, ки он оид ба тақсимои фазоии нанозарраҳои карбон, андозаи онҳо, ки муайянкунандаи нишондиҳандаи деформатсия ва мустаҳкамии полимерҳо ва МПНКК-и таркибашон гуногун мебошад, маълумоти саҳеҳ медиҳад;

3. Натиҷаҳои оид ба хосиятҳои гармофизикуӣ, оптикӣ ва механикуи маводҳои нанокомпозитӣ ҳосилшударо барои пешгӯии хосиятҳо ва қобилияти коршоямии онҳо истифода бурдан мукин аст;

4. Натиҷаҳои таҳқиқотҳоро ҳангоми хондани курсҳои махсуси “Физикаи полимерҳо”, “Физикаи маводҳои композитӣ” ва “Нанотехнология ва наномаводҳо” истифода бурдан мумкин аст;

Нуктаҳои асосии ба ҳимоя пешниҳодшаванда:

1. Натиҷаҳои таҳқиқоти таҷрибавии таъсири нанозарраҳо ба сохти морфологияи сатҳи намунаҳои нанокомпозитии карбонии дар асоси полимерҳои ПММА ва ПЭЗК ҳосилшуда.

2. Таъсири зарраҳои нанокарбон ба кӯчиши қиматҳои калони басомади пароканиши бриллюэнии композитҳои дар асоси ПММА ва ПЭЗК ҳосилшуда.

3. Вобастагии коэффисиенти ҳароратноқилияти нанокомпозитҳои ПММА ва ПЭЗК аз температура.

4. Хосиятҳои оптикуи (спектрҳои фурубурд, инъикос, гузариш ва люминестсенсия) композитҳои омӯхташуда дар соҳаи дарозии мавҷҳои 200-800 нм.

5. Таъсири маводҳои нанокарбонӣ (МНК) ба бузургии энергияи паҳноии минтақаи мамнуи полимерҳои аморфӣ;

6. Барномаи компютерии таҳияшуда барои гузаронидани ҳисобҳои адабӣ оид ба муайян кардани тавсифдиҳандаҳои оптикӣ ва гармофизикуи композитҳои нанокарбондор бо усули фотоакустикаи лазерӣ.

Этимоднокии натиҷаҳои бадастомадаро таъмин мекунад:

– маводҳои ба таъби расида дар маҷаллаҳои ба Номгӯи КОА-и назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон дохилшаванда, Scopus ва Web of Science; муаррифии натиҷаҳои ба даст омада дар конференсияҳо ва симпозиумҳои сатҳи гуногун;

– истифода аз усулҳои муосир ва боэтимоди таҳқиқи хосиятҳои сохторӣ, гармофизикӣ, дилатометрӣ, оптикӣ (спектрофотометрию люминестсентӣ), спектроскопияи бриллианӣ, фотоакустикаи лазерӣ, ҷилои лазерӣ ва моделсозии компютерӣ;

– истифода аз таҷҳизотҳои илмии муосири истеҳсолкунандагони сатҳи ҷаҳонӣ.

Мутобиқати диссертатсия ба шиносномаи ихтисоси илмӣ.

Диссертатсия ба шиносномаи номенклатураи ихтисосҳои Комиссияи олии аттестатсионии назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон барои ихтисоси 01.04.07 – Физикаи муҳитҳои конденсӣ аз рӯи нуқтаҳои зерин мувофиқат мекунад:

1. Омӯзиши назариявӣ ва таҷрибавии хосиятҳои физикии систе-маҳои бетартиби органикӣ ва ғайриорганикӣ, аз ҷумла моеъҳои клас-сикӣ ва квантӣ, шишаҳои табиаташон гуногун ва системаҳои дисперсӣ;

2. Хосиятҳои сохторӣ, морфологӣ ва механикии наноматериалҳо ва сохторҳои композити дар асоси онҳо, усулҳои омӯзиши наноматериалҳо ва сохторҳои композитӣ, усулҳои технологияи истеҳсоли наноматериалҳо, конструктсияҳои композитӣ, конструктсияҳои андозаҳои хурд, дастгоҳҳо ва воситаҳои мураккаб дар асоси онҳо;

3. Таҳияи моделҳои математикӣ ва пешгӯиҳои тағйироти хосиятҳои физикии моддаҳои конденсӣ вобаста ба таъсири омилҳои беруна, коркарди усулҳои таҷрибавии таҳқиқи хосиятҳои физикӣ ва шарҳи асосҳои физикии технологияи саноатии ҳосил намудани моддаҳои дорой хосиятҳои муайян.

Саҳми шахсии унвонҷӯ аз таҳлили адабиёти илмӣ оид ба мавзуи интихобшудаи диссертатсия, бевосита гузаронидани таҷрибаҳо, ҷенкуниҳо, ҳисобҳои ададӣ, таҳлил ва тафсири натиҷаҳои таҷрибавӣ, таҳия ва навиштани мақолаҳои илмӣ оид ба мавзуи таҳқиқот иборат аст. Натиҷаҳои кор бо иштироки бевоситаи ӯ дар шакли мақолаҳо ва маводҳои конференсия чоп шудаанд.

Марҳилаҳои таҳқиқ асосноккунии интихоби мавзуи диссертатсияро дар асоси обзори адабиёти илмӣ ва таҳлили вазъи кунунии масъалаҳо, муайян намудани ҳадаф ва вазифаҳои таҳқиқот, интихоби объекти таҳқиқ, омода намудани таҷҳизоти таҷрибавӣ, ба даст овардани натиҷаҳо, таҳлили онҳо ва баррасии хулосаю натиҷагириҳо доир ба мавзуи таҳқиқшударо дар бар мегирад.

Тасвиби амалии натиҷаҳои таҳқиқ. Натиҷаҳои асосии диссертатсия дар конференсияҳои илмии зерин муаррифӣ ва муҳокима гардиданд: Конференсияи XI байналмилалӣ илмӣ-амалии донишҷӯён, магистрҳо ва олимони ҷавон «Ломоносов 2015», (Қазоқистон, Остона, 2015); Конференсияи X-уми байналмилалӣ илмӣ «Илм ва маориф - 2015»,

(Қазоқистон, Остона, ДМА ба номи. Л.Н. Гумилев, 2015); Конференсияи XIII-уми байналмилалӣ илмӣ «Физикаи ҷисмҳои сахт», бахшида ба 20-солагии ДМА ба номи Л.Н. Гумилев, (Қазоқистон, Остона, 2016); Конференсияи XII-уми байналмилалӣ илмӣ донишҷӯён ва олимони ҷавон «Илм ва маориф - 2017», (Қазоқистон, Остона, ДМА ба номи. Л.Н. Гумилев, 2017); Конференсияи V умумирусиягии илмӣ ҷавонон «Муаммоҳои мубрами микро- ва наноэлектроника», (Русия, Уфа, Донишгоҳи давлатии Бошқирдистон, 2018); Конференсияи XIII байналмилалӣ илмӣ «Илм ва маориф - 2018», (Қазоқистон, Остона, ДМА ба номи. Л.Н. Гумилев, 2018); Конференсияи VI-уми байналмилалӣ илмӣ-амалӣ: «Муаммоҳои мубрами нақлиёт ва энергетика: роҳҳои ҳалли инноватсионӣ онҳо», (Қазоқистон, Остона, ДМА ба номи. Л.Н. Гумилев, 2018); Конференсияи ҷумҳуриявӣ илмӣ амалӣ бахшида ба «Бистсолагии омӯзиш ва рушди илмҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илм ва маориф» дар мавзӯи «Муаммоҳои муосири физикаи ҳолатҳои конденсӣ ва физикаи ҳаста», (Тоҷикистон, Душанбе, 2020); Конференсияи ҷумҳуриявӣ илмӣ-назариявӣ бахшида ба «30-солагии Истиқлолияти давлатии Ҷумҳурии Тоҷикистон ва 20-солагии омӯзиш ва рушди илмҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илм ва маориф 2020-2040», (Тоҷикистон, Душанбе, 2021); Конференсияи байналмилалӣ илмӣ-амалӣ дар мавзӯи «Дурнамои рушди таҳқиқот дар соҳаи кимиёи координатсионӣ ва ҷанбаҳои татбиқи онҳо», бахшида хотираи профессор Баситова С.М., 80-солагии зодрӯз ва 60-солагии профессор Азизкулова О.А», (Тоҷикистон, Душанбе, 2022); Конференсияи XV байналмилалӣ илмӣ «Физикаи ҷисмҳои сахт», (Қазоқистон, Остона, 2022).

Наشري таълифоти илмӣ дар мавзӯи диссертатсия. Дар асоси натиҷаҳои таҳқиқот 26 мақолаи илмӣ, аз он ҷумла 2 мақола дар нашрияҳои илмӣ тақризшаванда дар базаҳои Web of Science ва Scopus индексатсия шудаанд, 4 мақола дар маҷаллаҳои тақризии КОА-и назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон, 2- мақола дар маҷаллаҳои илмӣ Қазоқистон ва 18 фишурдаи мақолаҳо ва маърузаҳо дар маводҳои конференсияҳои илмӣ ҷумҳуриявӣ байналмилалӣ ба таърифи расидаанд.

Сохтор ва ҳаҷми диссертатсия. Диссертатсия дар 111 саҳифаи ҷопи компютерӣ навишта шуда, аз муқаддима, 3 боб, 8 ҷадвал, 46 расм, хулосаҳои асосӣ, номгуӣ осори муаллиф, 121 номгуӣ адабиёти истифодашуда иборат аст.

Калимаҳои калидӣ: полиметилметакрилат, полимер, зарраи нанокarbonӣ, нанокомпозит, фуллеренҳои C₆₀ и C₇₀, нанолулаи бисёрқабатаи карбондор, сохтор, хосиятҳои физикӣ, дилатометрия, микроскопия атомӣ-қуввагӣ, пароканиши бриллюэни, фотоакустикаи лазерӣ.

МАЗМУНИ МУХТАСАРИ ДИССЕРТАТСИЯ

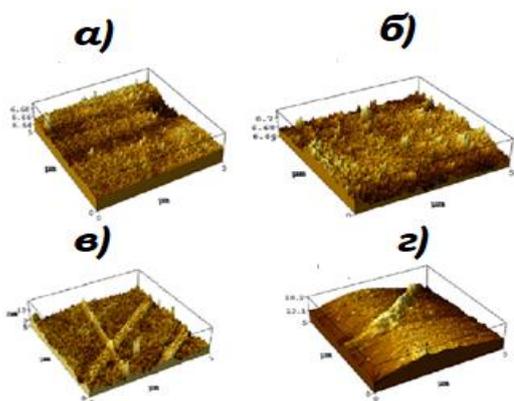
Дар муқаддимаи диссертатсия доир ба мубрамияи мавзуи таҳқиқ, дараҷаи таҳқиқи мавзуъ, робитаи таҳқиқ бо барномаҳо ва мавзуҳои илмӣ, мақсад, вазифаҳо, объект, предмет, асосҳои назарӣ, асосҳои методологӣ, сарчашмаҳо ва навгонии илмӣ таҳқиқ, нуктаҳои ба ҳимоя пешниҳодшаванда, аҳаммияти назарӣ ва амалии таҳқиқ, мутобиқати мавзуи диссертатсия бо шиносномаи ихтисоси илмӣ, саҳми шахсии довталаби дараҷаи илмӣ дар таҳқиқ, тасвиби амалии натиҷаҳои таҳқиқ, наشري таълифоти илмӣ дар мавзуи рисола, сохтор ва ҳаҷми рисола дар сатҳи зарурӣ маълумот дода шудааст

Боби аввал ба баррасии адабиёти илмӣ бахшида шуда, аз 4 параграф иборат мебошад. Дар ин ҷо таҳлили мухтасари корҳои илмӣ оид ба ҳосил кардани маводҳои полимери композитии карбондор ва усулҳои таҳқиқи онҳо, хусусиятҳои истифодаи зарраҳои карбондор ҳамчун иловаҳои ганикунанда ва таъсири онҳо ба хосиятҳои физикию кимиёвии маводҳои полимерӣ ва дурнамои ҳосил кардани маводҳои нави полимери композитии карбондор гузаронида шудааст.

Дар боби дуюм доир ба объектҳои таҳқиқот маълумот дода шудааст: полимерҳои васеъ истифодашавандаи ПЭЗК, ПММА ва ПС, инчунин пуркунандаҳои нанокарбонҳои онҳо, аз ҷумла фуллеренҳои C_{60} , C_{70} ва нанолулаҳои бисёрқабатаи карбондор. Технологияи тайёр кардани композитҳо аз маҳлулҳои маъмул дар ҳалкунандаҳои хушбӯӣ баррасӣ шудааст. Усулҳои таҳқиқотӣ дар кор истифодашуда асоснок карда шудаанд: микроскопияи атомӣ - қуввагӣ (МАҚ), спектроскопияи оптикӣ (спектрофотометрӣ, фотолюминестентӣ), пароканиши бриллюэни, дилатометрия, ҷилои лазерӣ, спектроскопияи лазерии фотоакустикӣ ва моделсозии ададӣ. Маълумот дар бораи таҷҳизотҳои истифодашуда оварда шудааст.

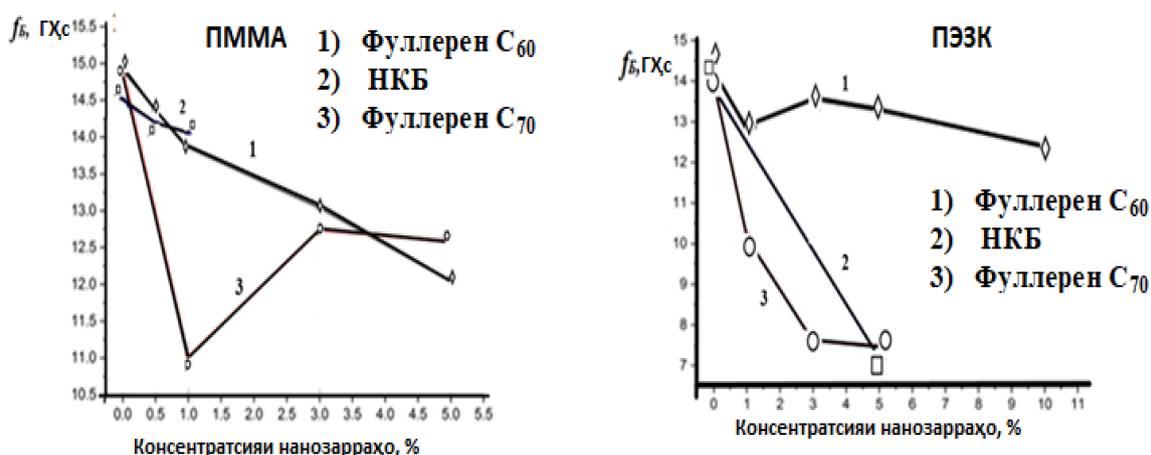
Боби сеюм ба натиҷаҳои таҳқиқи ҳамаҷонибаи таъсири иловаҳои хурди ($0,1 \div 10$ % масса) нанозарраҳои карбон, яъне фуллеренҳои C_{60} , C_{70} ва НКБ ба сохтор, чандирият ва гармофизикаи ПММА, ПЭЗК ва ПС бахшида шудааст.

Дар бахши 3.1 сохтори сатҳи полимерҳои нанокарбондор бо истифода аз усули микроскопияи атомӣ-қуввагӣ (МАҚ) таҳқиқ шудааст. Таҳқиқот бо пардаҳои ПЭЗК, ПММА-и тоза ва МПНКК, ки C_{60} доранд, ҳамчунин бо пардаҳои ПММА-и дар таркибаш миқдори гуногун доштаи НКБ гузаронида шуданд. Натиҷаҳои МАҚ дар мисоли намунаҳои ПММА+НКБ дар расми 1 оварда шудаанд. Таҳлили натиҷаҳои МАҚ оид ба таҳқиқи сохтори сатҳи намунаҳо (нисбат ба намунаҳои тозаи ПММА) аз пайдоиши ноҳамвориҳо дар ҳудуди 10-ҳо нм, шаҳодат медиҳанд ва собит мекунанд, ки иловаи ками НКБ ба тағйироти назарраси морфологияи сатҳи композитҳо меоварад; натиҷаҳо оид ба тақсимои фазои нанозарраҳо, чуқурии воридшавӣ ва дараҷаи тартибот дар матритсаи полимерӣ муайян шудаанд.



Расми 1. Натиҷаҳои 3-ченакаи - МАҚ сканкунии сатҳи намунаҳо: а) ПММА -и тоза; б) ПММА + 0,1% НБК в) ПММА + 0,5% НБК ва з) ПММА +1% НБК.

Дар баҳши 3.2. натиҷаҳои таҳқиқоти таҷрибавии хосиятҳои чандирии намунаҳои МПНКК-и дар асоси полимерҳои ПЭЗК ва ПММА ҳосилшуда бо истифода аз спектроскопияи бриллюэни оварда шудаанд. Муайян гадидааст, ки қиматҳои калони басомадҳои пароканиши бриллюэни (f_B) барои нанокompозитҳои полимери номбурда бо афзоиши консентратсияи нанозарраҳои иловагардидаи НБК ва фуллеренҳои C_{60} ва C_{70} ба сӯйи басомадҳои паст мекуҷад. Характери кӯчиши қиматҳои калони басомадҳои пароканиши бриллюэни (f_B) аз навъи матритсаи полимерӣ, ҳамчунин аз намуд ва консентратсияи нанозараҳои карбонӣ вобастагӣ дорад. Дар расми 2 вобастагии консентратсионии қиматҳои калони басомадҳои бриллюэни барои намудҳои гуногуни пардаҳои нанокompозитии полимерӣ дар асоси ПММА ва ПЭЗК оварда шудаанд.



Расми 2. Вобастагии консентратсионии қиматҳои калони басомадҳои бриллюэни (f_B) барои навъҳои гуногуни намунаҳои нанокompозитии полимерӣ, дар асоси ПММА ва ПЭЗК.

Барои бузургии кӯчиши басомади мавҷҳои бриллюэни (f_B) вобастагии ҳелло содаи тавсифдиҳандаҳои чандирии намунаҳо ҳосил шудааст:

$$f_B = \frac{2n\theta_L}{\lambda} \quad (2.1)$$

Мувофиқи ин ифода параметрҳои чандирии намунаҳои таҳқиқшаванда аз суръати мавҷҳои акустикӣ тулӣ вобастаанд:

$$\vartheta_L = \sqrt{\left(1 + \frac{2\nu^2}{1-\nu-2\nu^2}\right) \times E/\rho}, \quad \text{ё ин ки } \vartheta_L = \sqrt{3K + 4G/3\rho}, \quad (2.2)$$

ки дар ин ҷо ρ , ν , E , K и G мутаносибан зичии мавод, коэффисиенти Пуассон, модули Юнг ва коэффисиентҳои фишурдашавии ҳаҷмӣ ва лағзиш мебошанд.

Ҳамин тариқ, дар таҷриба (f_B) -ро чен карда, аз ифодаҳои (2.1) ва (2.2) истифода бурда, масалан, бузургии модули Юнгро (E) муайян кардан мумкин аст:

$$E = \left(\frac{f_B \lambda}{2n}\right)^2 \times \rho. \quad (2.3)$$

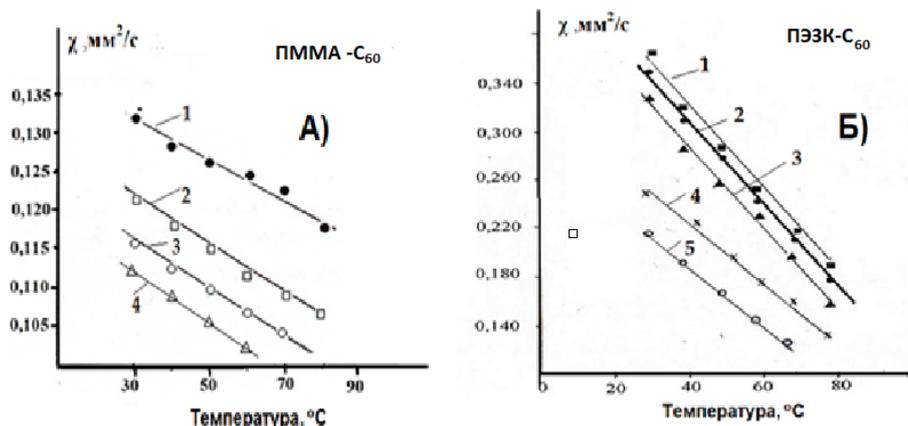
Дар бахшҳои 2.3 ва 2.4 натиҷаҳои таҳқиқоти дилатометрӣ ва гармофизикии пардаҳои МПНКК дар асоси ПММА ва ПЭЗК ҳосилшуда, ки бо фуллерени C_{60} ғанӣ гардидааст, оварда шудаанд. Сипас тавассути формулаи $\chi = \lambda / (\rho C_p)$ қиматҳои коэффисиентҳои ҳароратнокилияти композитҳо муайян карда шудаанд. Натиҷаҳои таҷрибавӣ дар ҷадвалҳои 1, 2 ва ҳисобшуда ҳамчунин дар расми 3 оварда шудаанд.

Ҷадвали 1. Вобастагии ҳароратӣ ва консентратсионии зичӣ - $\rho(T)$ ($г/см^3$) ва гармигунҷоии хосси c_p ($Ҷ/г.К$) нанокompозити ПЭЗК+ C_{60} .

Тем-ра, °C	30		50		60		70		80	
Намуна	ρ	c_p	ρ	c_p	ρ	c_p	ρ	c_p	ρ	c_p
ПЭНП(тоза)	0,8976	0,832	0,903	1,086	0,8915	1,132	0,8600	1,242	0,8600	1,265
ПЭНП+1% C_{60}	0,9096	0,8290	0,9180	1,068	0,9180	1,154	0,9289	1,260	0,900	1,311
ПЭНП+3% C_{60}	0,9128	0,785	0,9087	0,988	0,8894	1,060	0,9199	1,179	0,9060	1,356
ПЭНП+5% C_{60}	0,9122	0,9362	0,8704	1,304	0,8855	1,353	0,9073	1,380	0,9144	1,500
ПЭНП+10% C_{60}	0,9092	0,952	0,8872	1,281	0,8836	1,485	0,8616	1,798		

Ҷадвали 2. Вобастагии ҳароратӣ ва консентратсионии зичӣ - $\rho(T)$ ($г/см^3$) ва гармигунҷоии хосси c_p ($Ҷ/г.К$) нанокompозити ПММА+ C_{60} .

Тем-ра, °C	30		50		60		70		80	
Намуна	ρ	c_p								
ПММА (тоза.)	1,053	1,399	1,055	1,478	1,040	1,518	1,034	1,558	1,066	1,598
ПММА-1% C_{60}	1,063	1,135	1,165	1,181	1,124	1,280	1,120	1,380	1,117	1,443
ПММА-5% C_{60}	1,115	0,998	1,089	1,201	1,051	1,334	0,984	1,510	0,965	1,641
ПММА-10% C_{60}	1,150	0,128	1,150	0,133	1,064	0,140	0,972	0,146	0,973	0,151



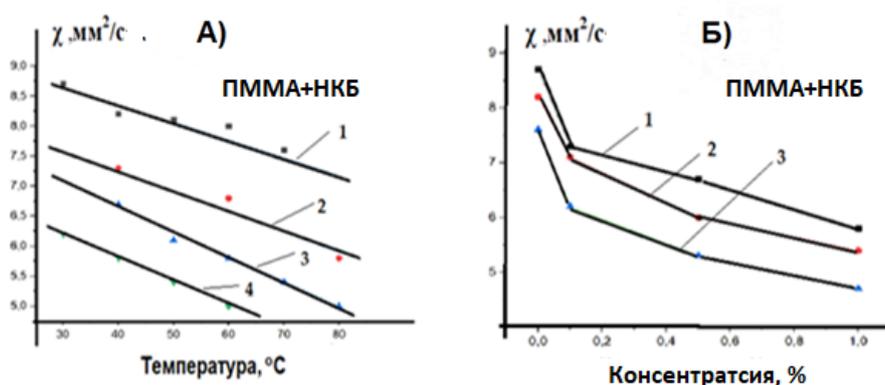
Расми 3. Вобастагии ҳароратии коэффисиенти ҳароратноқилият: А) ПММА+С₆₀ дар консентратсияҳои гуногуни фуллерен: 1) ПММА-и тоза; 2) ПММА+1% С₆₀; 3) ПММА+5%С₆₀; 4) ПММА+10% С₆₀ ва Б) ПЭЗК+С₆₀: 1) ПЭЗК (тоза) - ■; 2) ПЭЗК +1%С₆₀ - ●; 3) ПЭЗК +3%С₆₀ - ▲; 4) ПЭЗК + 5% С₆₀ - x; 5) ПЭЗК +10%С₆₀ - ○.

Дар бахши 3.5 ҳароратноқилияти композитҳои намунаи ПММА+НКБ (0,1-1 % масса) бо истифода аз усули ҷилои лазерӣ (ҶЛ) таҳқиқ шудааст. Вобастагии квадратии параметри аз ғафсии намунаҳо яке аз омилҳои калидии ҷенкуниҳо бо усули ҷилои лазерӣ маҳсуб меёбад:

$$\chi(T) = \frac{1.38 \times l_s^2}{\pi^2 t_{1/2}}, \quad (2.4)$$

ки дар инҷо l_s ғафсии намуна ва $t_{1/2}$ вақти гарм кардани тарафи қафои намунаи таҳқиқшуда то нимаи қимати максималии он мебошад.

Натиҷаҳои вобастагии ҳароратӣ ва консентратсионии коэффисиенти ҳароратноқилият дар расми 4 оварда шудаанд.

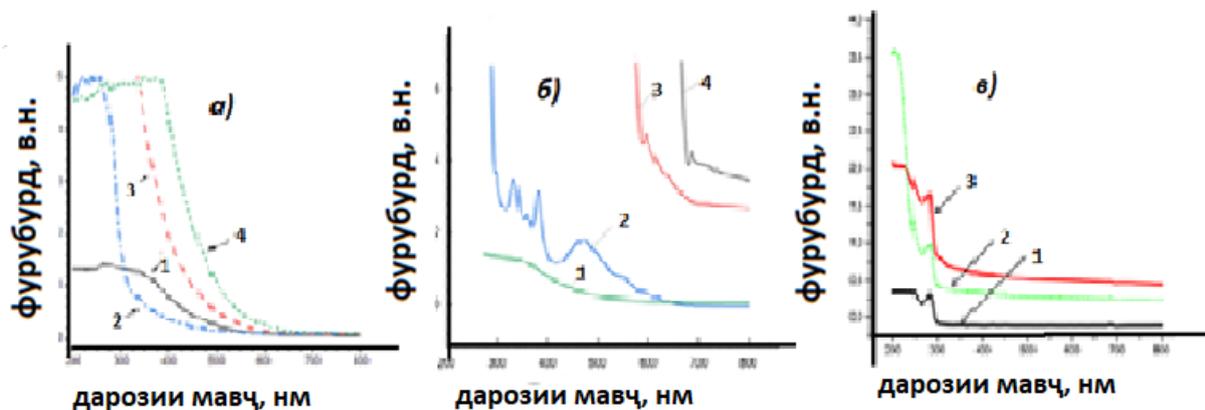


Расми 4. Вобастагии ҳароратӣ (а) ва консентратсионии (б) коэффисиенти ҳароратноқилияти намунаҳои ПММА+НКБ

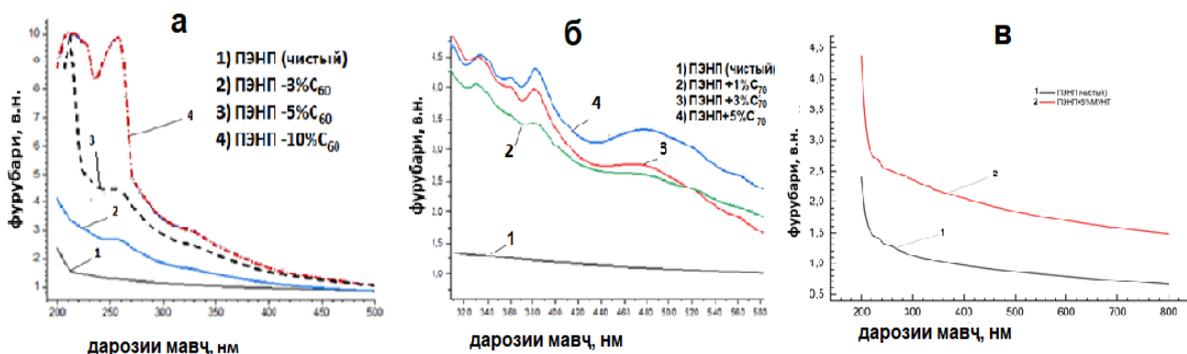
Се бахши минбаъдаи рисола ба таҳқиқоти ҳамачонибаи композитҳо бо истифода аз усулҳои спектроскопияи оптикӣ ва фотоакустикаи лазерӣ (ФА), инчунин моделсозии компютерӣ бахшида шудаанд.

Дар бахшҳои 3.6-3.8 натиҷаҳои таҳқиқоти спектрофотометрии намунаҳои ПММА, ПЭЗК ва ПС, ки бо нанозарраҳои карбонии фуллеренҳои C_{60} , C_{70} , НКБ ғайи гардидаанд оварда шудаанд.

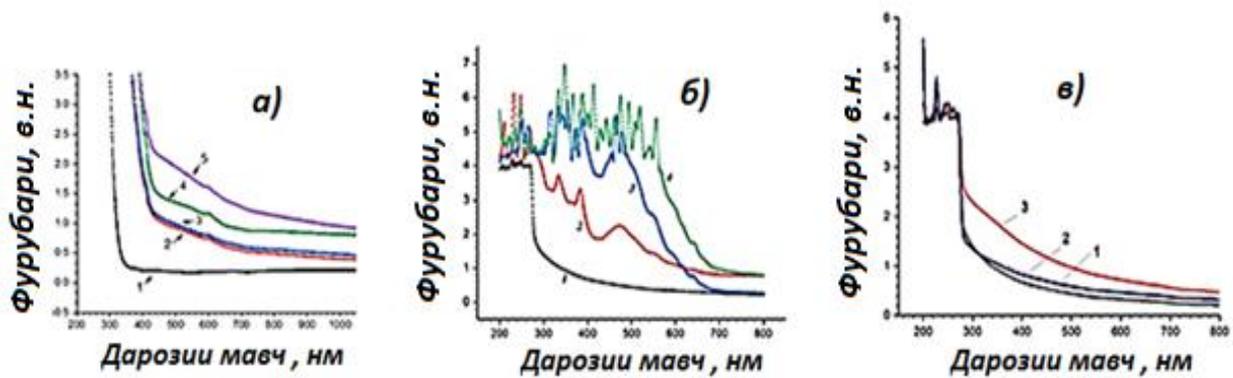
Таҳқиқоти спектрҳои фурубурд ва инъикоси намунаҳо дар соҳаи дарозии мавҷҳои 200-800 нм гузаронида шуданд. Дар расмҳои 5-7 баъзе натиҷаҳои бо усули спектрофотометрӣ (спектрҳои фурубурд) барои ҳар як гурӯҳи намунаҳои таҳқиқшудаи пардаҳои МПНКК оварда шудаанд.



Расми 5. Спектри фурубурди намунаҳои пардаҳои МПНКК-и дар асоси ПММА дар соҳаи дарозии мавҷҳои 200-800нм. **а)** – ПММА+ C_{60} : 1 - ПММА – тоза; 2 – ПММА+1% C_{60} ; 3 – ПММА+3% C_{60} ; 4 – ПММА+5% C_{60} ; **б)**- ПММА+ C_{70} : 1 - ПММА (тоза); 2 – ПММА+1% C_{70} ; 3 – ПММА+3% C_{70} ; 4 – ПММА+5% C_{70} ; **в)**- ПММА+НКБ: 1- ПММА+0,1% НКБ; 2 – ПММА+0,5% НКБ; 3 – ПММА+1% НКБ.



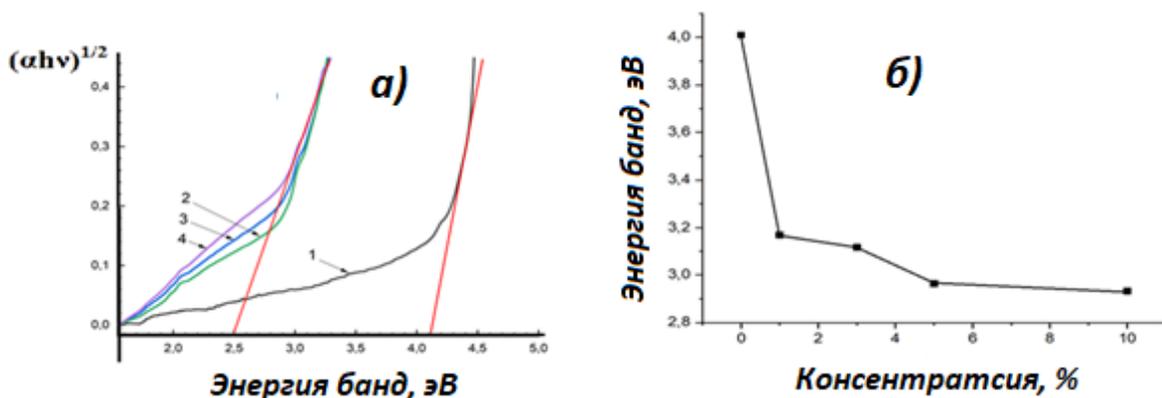
Расми 6. Спектри фурубурди намунаҳои МПНКК, дар асоси ПЭЗК дар соҳаи дарозии мавҷҳои 200-800нм. **а)**- ПЭЗК+ C_{60} : 1 - ПЭЗК (тоза); 2 - ПЭЗК+3% C_{60} ; 3 -ПЭЗК+5% C_{60} ; 4 - ПЭЗК+10% C_{60} ; **б)**- ПЭЗК+ C_{70} : 1 - ПЭЗК (тоза); 2 - ПЭЗК+1% C_{70} ; 3 - ПЭЗК+3% C_{70} ; 4 - ПЭЗК+5% C_{70} ; **в)**- ПЭЗК+НКБ: 1 - ПЭЗК (тоза), 2 - ПЭЗК+5% НКБ.



Расми 7. Спектри фурубурди намунаҳои МПНKK, дар асоси ПС дар соҳаи дарозиҳои мавҷи 200-800 (нм). **а)**- ПС+С₆₀: 1 - ПС (тоза); 2 - ПС+1%С₆₀; 3 - ПС+3%С₆₀; 4 - ПС+5%С₆₀; 5 - ПС+10%С₆₀; **б)**- ПС+С₇₀: 1 - ПС (тоза); 2 - ПС+1%С₇₀; 3 - ПС+3%С₇₀; 4 - ПС+5%С₇₀; **в)**- ПС+ НКБ: 1 - ПС (тоза), 2 - ПС+5% НКБ.

Ҳамин тариқ, муқаррар карда шуд, ки дар спектри фурубурди ҳамаи намунаҳои таҳқиқшудаи пардаи МПНKK афзоиши қобилияти фурубурд ба тарафи соҳаи баландбасомади спектр (УБ) бо афзоиши консентратсияи нанозарраҳо мушоҳида мешавад. Қиматҳои калони хосси фурубурд барои ПС - НКБ дар соҳаи 227 нм; барои намунаҳои ПС-С₆₀ дар соҳаи 598,5; 597; 600 603 нм ва барои намунаҳои ПС-С₇₀. дар соҳаи 380; 480; 645 нм муайян шуданд.

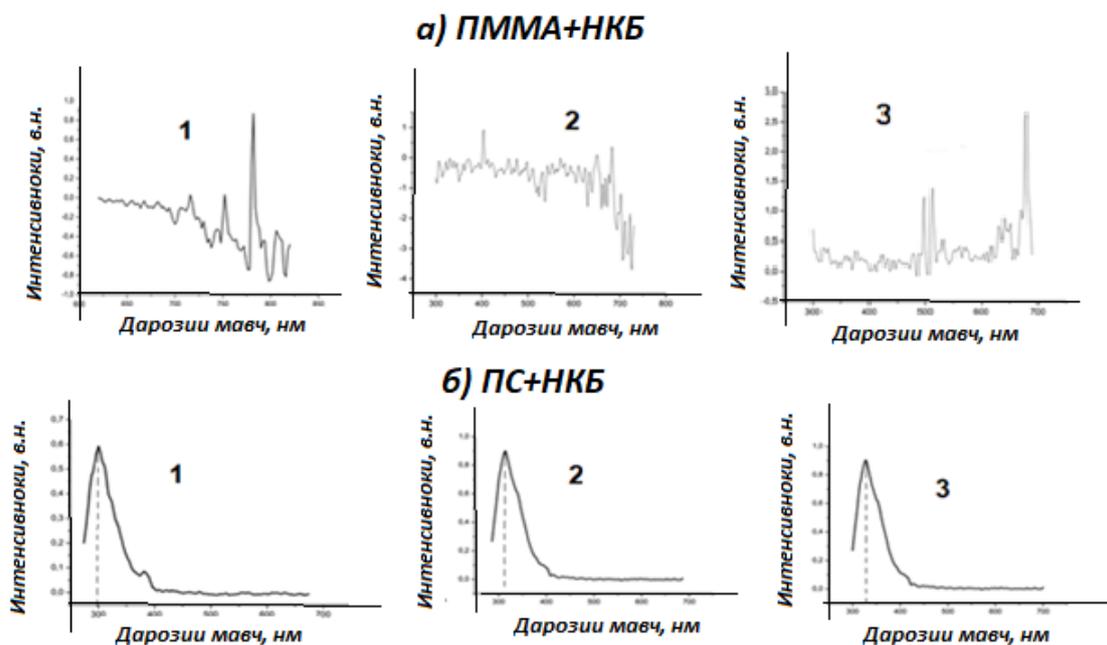
Дар бахши 3.9 дар мисоли нанокомпозити ПС-С₆₀ таъсири нанозараҳои С₆₀ ба бузургии энергияи паҳноии минтақаи мамнуъ таҳқиқ шудааст (расми 8, 9). Муайян гардидааст, ки ҳангоми гузаштан аз намунаи тозаи ПС дорои энергияи паҳногии минтақаи мамнуъ 4,2 эВ ба намунаи дорои 10%-и фуллерени С₆₀ дошта E_g ба 2,5 эВ баробар мешавад, яъне 1,5 маротиба кам мегардад.



Расми. 8. Таъсири нанозарраҳои фуллеренӣ С₆₀ ба бузургии энергияи паҳноии минтақаи мамнуи полистирол

Расми. 9. Вобастагии энергияи паҳноии минтақаи мамнуи ПС-С₆₀ аз консентратсияи пуркуанда.

Бахши 3.10 ба таҳқиқи хосиятҳои люминестсентии МПНКК дар асоси ПС ва ПММА-и бо нанозараҳои концентратсияҳои 0,1-1 % массаи НКБ бахшида шудааст. Спектрҳои люминестсентии ҳар ду гурӯҳ дар расми 10 оварда шудаанд.



Расми 10. Спектрҳои фотолуминестсентии намунаҳои пардаҳои МПНКК: а)- ПММА+НКБ: 1) ПММА (тоза); 2) ПММА+0,1%НКБ; 3) ПММА+1%НКБ.; б) ПС+НКБ: 1) ПС+0,5% НКБ; 2) ПС+0,1% НКБ; 3) ПС (тоза).

Дар спектри люминестсентии намунаҳои ПММА - НКБ лағжиши максимуми раҳҳои ФЛ-и ПММА дар соҳаи 613-614 нм мушоҳида мешавад. Таъсири иловаи нанозараҳо ба спектри люминестсентии композитҳо ба пайдоиши марказҳои ҷило ҳамбастагӣ дорад, ки аз концентратсияи зарраҳо ва тақсими онҳо дар матритсаи полимерӣ вобаста мебошад. Таҳқиқотҳо собит мекунанд, ки максимумҳои интенсивияти ҷилои композитҳо, асосан ба соҳаи дарозии мавҷҳои 300-700 нм мувофиқ меоянд ва афзоиши концентратсияи НКБ аз 0,1 то 1% боиси афзоиши қиматҳои калони ҷилои люминестсентсия аз 1,5 то 3 маротиба мегардад.

Дар бахши 3.11.1 натиҷаҳои тавассути усули фотоакустикаи лазерӣ бо схемаи бақайдгирии микрофонӣ ҳосилгашта оварда шудаанд. Хусусиятҳои истифодаи усули лазерии ФА ҳангоми таҳқиқи як қатор хосиятҳои гармофизикӣ ва оптикӣ МПНКК таҳлил гардидаанд. Нишон дода шудааст, ки барои намунаҳои баррасишудаи нанозараҳои карбондори пардаҳои полимерӣ таносуби байни параметҳои ФА: l_s , μ_s ва μ_β назаррас тағйир меёбанд. Дар инҷо l_s – ғафсии намуна, $\mu_s = (2\chi/\omega)^{1/2}$ -дарозии ҳароратноқилият (χ - коэффисенти ҳароратноқилият, мм²/с, $\omega = 2\pi f$ - басомади модулятсияи афканишоти оптикӣ (χ_s)), $\mu_\beta = 1/\alpha$ - ғафсии оптикӣ фурубурд, α - коэффисенти оптикӣ фурубурд.

Дар бахши 3.11.1 назарияи эффекти фотоакустикӣ бо ба қайдгирии микрофонӣ баррасӣ гардида, истифодаи назарияи Розентсвейг-Гершо дар ҳамбастагӣ ба таҳқиқи хосиятҳои фотоакустикии полимерҳои композитӣ асоснок карда шудааст. Моделсозии компютери равандҳои ФА гузаронида шудааст.

Дар бахши 3.11.2 дар асоси забони муосири барномасозии Borland Delphi барномаи моделсозии компютери «Фотоакустика» таҳия карда шуд, ки он имкон медиҳад, ки масъалаҳои ФА зудтар ҳал карда шаванд ва ба ин васила гузаронидани таҷрибаҳои воқеии ФА муҳайё мегардад.

Хулосаҳо

1. Бо истифода аз усулҳои микроскопияи атомӣ-қуввагӣ, спектроскопияи бриллюэни, дилатометрия, таъсироти нанозарраҳои фуллеренҳои C_{60} , C_{70} ва нанолулаҳои НКБ ба морфологияи сатҳ, кӯчиши қиматҳои калонтарини басомади пароканиш ва хосиятҳои гармофизикии ПММА ва ПЭЗК таҳқиқ шудаанд. Муайян гардидааст, ки морфологияи сатҳи намунаҳои полимерҳои ПММА ва ПЭНП вобаста ба намуди наноиловаҳо ва консетрасияи онҳо назаррас тағйир меёбанд. Муайян карда шудааст, ки сатҳи намунаҳои асосашон полимери ПММА, бо илова кардани НКБ дар муқоиса ба сатҳи композитҳои дорои фуллерени C_{60} , ноҳамвортар аст.

2. Муқаррар карда шудааст, ки қимати калонтарини басомадҳои пароканиши бриллюэнии композитҳои асосашон ПММА ва ПЭЗК, ҳангоми тағйир ёфтани консентратсияи иловаҳо (НКБ, C_{60} ва C_{70}) ба тарафи басомадҳои паст мекӯҷад. Басомади спектри бриллюэни бо тағйирёти табиати полимер, навъи нанозарраҳои иловашаванда ва консентратсияи онҳо вобастагӣ дорад.

3. Бо усули дилатометри таъсироти фуллерени C_{60} ба хосиятҳои гармофизикии намунаҳои нанокомпозитии карбондори ПЭЗК ва ПММА, таҳқиқ шудааст. Нишон дода шудааст, ки бузургии ҳароратноқилияти намунаҳои таҳқиқшаванда бо афзоиши температура ва консентрасияи нанозарраҳои карбонӣ хаттӣ коҳиш меёбад. Механизми коҳишёбии коэффисиенти ҳароратноқилият ҳангоми иловаи ками C_{60} пешниҳод шудааст. Муқаррар гардидааст, ки коҳишёбӣ ба пароканиши фонҳо аз кристаллитҳо, нанозарраҳо, микрополигҳои дохили намунаҳо алоқаманд аст.

4. Спектрҳои фурубурди полимерҳои ПММА, ПЭЗК ва ПС дар соҳаи дарозиҳои мавҷи 200-800 нм, барои консентратсияҳои гуногуни нанокарбонҳои C_{60} , C_{70} ва НКБ таҳқиқ шуданд. Муайян карда шудааст, ки спектрҳои оптикии фурубурди матритсаҳои полимерии қайдгардида вобаста аз намуди нанозарраҳо ва консентратсияи онҳо тағйир меёбад, ки он дар тағйирёбии интенсивнокии пайдоиши раҳҳои нав ва лағжиши канорҳои спектр зоҳир мегардад.

5. Дар асоси спектри фурубурд барои гузаришҳои мустақими ($E_F \geq E_g$), энергияи паҳноии минтақай мамнуи (E_g) намунаҳои ПС - и таҳқиқшуда,

муайян карда шудаанд. Муқаррар шудааст, ки қимати бузургии E_g , бо афзоиши концентратсияи нанозарраҳои фуллерени C_{60} аз 4,2 эВ (ПС-и тоза) то 2,5 эВ (ПС-10 % C_{60}) коҳиш меёбад.

6. Бо истифода аз усули хаттии спектроскопияи лазерии ФА бо схемаи бақайдгирии микрофонӣ, барои муайян кардани хосиятҳои асосии гармофизикӣ ва оптикӣ намунаҳои пардаҳои МПНКК таҳлили назариявӣ ва ҳисоби рақамӣ гузаронида шудаанд. Муайян гардидааст, ки таносубҳои байни параметрҳои фотоакустикӣ: I_s , μ_s ва μ_0 , бо тағйироти концентратсияи нанозарраҳои иловагардида, назаррас тағйир меёбанд.

7. Дар асоси назарияи классикӣ хаттии спектроскопияи фотоакустикӣ бо схемаи бақайдгирии микрофонӣ (назарияи Розентсвейг-Герш), барои намунаҳои шаффофу нимшаффофи полимерӣ ифодаҳои зарурӣ ҳосил шудаанд. Ифодаҳои ҳисоби амплитудайи ФА барои тағмонҳои оптикӣ ғафс ва оптикӣ тунук ҳосил шудаанд.

8. Дар заминаи забони барномасозии компютери Borland Delphi ва назарияи РГ барномаи моделсозии «Фотоакустика», пешниҳод шудааст. Барномаи пешниҳодшудаи моделсозии «Фотоакустика» имконият медиҳад, ки ҳисобҳои ададӣ мушаххас ва зудтар, гузаронида шаванд.

ТАВСИЯҲО ДОИР БА ИСТИФОДАИ АМАЛИИ НАТИҶАҲОИ ТАҲҚИҚ

1. Дар рисола нишон дода шудааст, ки хосиятҳои физикӣ-химиявӣ нанокompозитҳои полимерӣ аллақай дар марҳилаи қолаббандии технологияи онҳо ташаккул меёбанд. Ин барои физикҳо ва технологҳои кимиёвӣ, ки дар таҳияи технологияи истеҳсоли нанокompозитҳои полимери дорои хосиятҳои муайян иштирок мекунанд, муҳим аст.

2. Усулҳои нави барномаҳои моделсозии компютерӣ барои композитҳои полимери карбондор ва маводҳои ба онҳо монанд коркард ва такмилгардида имконият медиҳанд, ки ҳисобҳои ададии ҳақиқӣ бо мақсади таъмин кардани қобилияти фурубурд дар таҷҳизотҳои оптикӣ таъинотҳои гуногун гузаронида шаванд.

РҶҲАТИ ИНТИШОРОТИ ИЛМИИ УНВОНЧҶҲИ ДАРАҶАИ ИЛМӢ ДАР МАВЗҶИ ДИССЕРТАТСИЯ

1. Мақолаҳои илмие, ки дар тақризшавандаи Комиссияи олии аттестатсионии назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон ба таъб расидаанд:

[1-А] Мирзо, А. Особности фотоакустических методов исследования теплофизических свойств нанокompозитных полимерных материалов / Д.М. Шарифов, А. Мирзо, Н.И. Темиркулова, Ж.Т. Оспанова, Ш. Туйчиев, А.З. Бекешев // Вестник ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, 2016. - Ч.1. - №6 (115). - С.258 -265;

[2-А] Мирзо, А. Компьютерное моделирование линейных фотоакустических процессов / А Мирзо, Д.М. Шарифов // Политехнический вестник, серия: Инженерные исследования», Душанбе, 2018. -С.4-8;

[3-A] **Mirzo, A.** Laser photoacoustics method for determination of the coefficients of thermal conductivity and thermal diffusivity of materials / G.T. Merzadinova, K.E. Sakipov, D.M. Sharifov, **A. Mirzo**, A.Z. Bekeshev //, *Eurasian physical technical journal, Karaganda State University, Kazakhstan*, 2019. -V.16. - No.1(31). - P.83-88. (*Scopus*);

[4-A] **Мирзо, А.** Результаты бриллюэновской спектроскопии полимерных нанокompозитных плёнок на основе ПММА и ПЭНП / Ш. Туйчиев, **А. Мирзо**, Д. Рашидов., Д.М. Шарифов, С.Х. Табаров // Журнал «Вестник Таджикского национального университета», серия естественных наук, 2021. -№2. -С.67-69;

[5-A] **Мирзо, А.** Температуропроводности фуллеренсодержащего полиэтилена / **А. Мирзо**, Дж Рашидов. Д.М. Шарифов, Т.Х. Салихов, С. Табаров, Ф.Х. Содиков // Журнал «Доклады национальной академии наук Таджикистана», 2021. -Т. 64, -№5-6, -С. 303-307;

[6-A] **Мирзо, А.** Влияние фуллерена C₆₀ на температуропроводность полиметилметакрилата / А. Мирзо, Дж. Рашидов, Д.М. Шарифов, Т.Х. Салихов, С. Табаров, Ф.Х. Содиков // Доклады национальной академии наук Таджикистана, 2022. -Т. 65, -№1-2, -С. 63-68;

[7-A] **Мирзо, А.** Исследование спектров поглощения углеродсодержащих нанокompозитных полимерных плёнок на основе полиметилметакрилата // **А. Мирзо**/ Вестник Дангаринского государственного университета», 2024. -№2(28), -С.66-78;

[8-A] **Mirzo, A.** The Study of Composite Materials Properties Based on Polymers and Nano-Additives from Industrial Wastes from Kazakhstan / D. Sharifov, R. Niyazbekova, A.Mirzo, et.al// *Materials*, 2024. -V.17, -№12, 2959. -P. 1-26. (*WoS, Scopus*). <https://doi.org/10.3390/ma17122959>.

2. Мақолаҳое, ки дар маводҳои конференцияҳои байналмиллалӣ ва ҷумҳуриявӣ ҷоп шудаанд

[9-A] **Мирзо, А.** Исследование оптических и теплофизических углеродных нанокompозитных полимерных материалов / Д.М. Шарифов, Ш.Туйчиев, **А. Мирзо**, Г.Э Сагындыкова // Международная научно-практическая конференция: «Аузовские чтения-13», г. Шымкент, ЮКГУ им. М. Ауезова, 2015, -С.246 -249.

[10-A] **Мирзо, А.** Теплофизические свойства полимерных материалов применяемых при изготовлении волоконно-оптических кабелей. / А.Т Дюсенова, **А. Мирзо**, З.Б. Мухтарова, К.Е. Еремекбаева, Э.Г. Пак// Сборник Материалов X-я Международная научная конференция студентов и молодых учёных «Наука и образование – 2015», Казахстан, Астана, 2015.- С. 258- 261.

[11-A] **Мирзо, А.** Моделирование термомеханических свойств полимерных волоконно-оптических кабелей. / З.Б Мухтарова, **А. Мирзо**, А. Т. Дюсенова, Э.Г. Пак// Сборник Материалов XI Международная научная конференция студентов, магистрантов и молодых ученых «Ломоносов - 2015», Казахстан, Астана, 2015. - С. 101-102.

[12-А] **Мирзо, А.** Фотоакустические исследование оптических и теплофизических свойств полимерных нанокompозитных материалов / Д.М. Шарифов, **А. Мирзо**, Т.Х. Салихов, У Мадвалиев // Материалы XIII Международной научной конференции «Физика твёрдого тела», посвящённой 20 - летию Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилёва, Астана, Казахстан, 26-28 апреля, 2016 г. -С. 58-59.

[13-А] **Мирзо, А.** Исследование люминесцентных свойств нанокompозитных полимерных плёнок на основе ПЭНП+МУНТ / Г.Е. Сагындыкова, **А. Мирзо**, Ш. Туйчиев и др. // Материалы XIII Международной научной конференции «Физика твёрдого тела», посвящённой 20 - летию Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилёва, Астана, Казахстан, 26-28 апреля, 2016 г. - С. 84-85.

[14-А] **Мирзо, А.** Численные моделирования лазерных фотоакустических экспериментов / **А. Мирзо**, Н.Б. Оралбеков, А.А. Калмуратов // сборник материалов XI Международной научной конференции студентов и молодых ученых «Наука и образование-2017», 2017. -С. 437- 440.

[15-А] **Мирзо, А.** Экспериментальная установка для исследования теплофизических свойств углеродных нанокompозитных полимерных материалов методов фотоакустической спектроскопии / Д.М. Шарифов, Н.И. Темиркулова, **А. Мирзо**, и др. // Инновации в науке, 2017. - №3(64).- С. 47-51.

[16-А]. **Мирзо, А.** Экспериментальная установка для исследования теплофизических свойств углеродных нанокompозитных полимерных материалов методом фотоакустической спектроскопии / Ж.Т. Оспанова, **А. Мирзо**// Сборник материалов XII Международной научной конференции студентов и молодых учёных «Наука и образование -2017», Астана, Казахстан, 2017, -С. 494 - 498.

[17-А] **Мирзо, А.** Фотометрические исследования нанокompозитных полимерных материалов на основе полистирол +фуллерен C₆₀ / Н.Б. Тулебаева, **А. Мирзо** // Сборник материалов XII Международной научной конференции студентов и молодых учёных «Наука и образование -2017», Астана, Казахстан, 2017. -С. 508-512.

[18-А] **Мирзо, А.** Численные моделирования лазерных фотоакустических экспериментов // **А. Мирзо**, О. Нуржан, К. Акимжан// Сборник материалов XII Международной научной конференции студентов и молодых учёных «Наука и образование -2017», Астана, Казахстан, 2017, - С.437-440.

[19-А] **Мирзо, А.** //Определение коэффициента температуропроводности прозрачных и полупрозрачных материалов методом лазерной фотоакустики / **А.Мирзо**, Н.И. Темиркулова, Д.М. Шарифов, Ж. Оспанова // VI Международной научно-практической конференции: «Актуальные проблемы транспорта и энергетики: пути их инновационного решения», Астана, Казахстан, 2018. -С.734-738.

[20-А]. **Мирзо, А.** Исследование влияние концентрации углеродных наночастиц на физические свойства полимерных нанокompозитных пленок

/ Б.Е. Ержанова, Ж.Т. Мырзабекова, А. Мирзо // Сборник Материалов XIII Международная научная конференция «Наука и образование - 2018», Астана, Казахстан, 2018. -С.612-614.

[21-А] **Мирзо, А.** Исследование теплофизических свойств некоторых композитных полимерных материалов / Ж.Т. Оспанова, А. Мирзо // Сборник Материалов XIII Международная научная конференция «Наука и образование - 2018», Астана, Казахстан, 2018. - С.535-538.

[22-А] **Мирзо, А.** Физико-химические методы получения угле-родных нанокompозитных полимерных пленок и исследование их структурные свойства / Г.Г. Сарсехан, А. Мирзо // Сборник Материалов XIII Международная научная конференция «Наука и образование - 2018», Астана, Казахстан, 12 апреля 2018 года. -С. 686-689.

[23-А] **Мирзо, А.** Бриллюэновская спектроскопия полимерных нанокompозитных плёнок на основе ПММА и ПЭНП/ **А. Мирзо**// Материалы республиканской научно-практич. конференци, Душанбе, 2020. - С.67-69.

[24-А] **Мирзо, А.** Исследование спектрофотометрических и люминесцентных свойств образцов углеродных нанокompозитных полимерных материалов / Г.Е. Сатаева, А.А. Баратова, А. Мирзо, Р.К. Ниязбекова и др. // Материалы XV-й Международной научной конференции «Физика твёрдого тела», г. Астана, Казахстан, 2022. - С. 129-131;

[25-А] **Мирзо, А.** Исследование температуропроводности фуллеренсодер-жащего полиэтилена / Д. Рашидов, **А. Мирзо**, Д.М Шарифов, Т.Х. Салихов, Р. Кодиров // Материалы республиканской научно-теоретической конференции, посвящённой «30-летию Государственной независимости Республики Таджикистан», Душанбе, 2021. - С. 123-125;

[26-А]. **Мирзо, А.** Температуропроводность фуллеренсодержащего полиметилметакрилата /**А. Мирзо**, Дж. Рашидов, Т.Х. Солехов, С. Табаров и др. // Международная научно-практическая конференция «Перспективы развития исследований в области химии координационных соединений и аспекты их применения», 30-31 марта, Душанбе, 2022, -С.279-281.

АННОТАЦИЯ

диссертации Авази Мирзо на тему «Исследование влияния фуллеренов и углеродных нанотрубок на структуру и физические свойства некоторых аморфных и кристаллических полимеров», представленной на соискание ученой степени учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07- физика конденсированного состояния

Ключевые слова: полимер, наноуглеродная частица, нанокомпозит, фуллерены C_{60} и C_{70} , многостенная углеродная нанотрубка, структура, физические свойства, дилато-метрия, атомно-силовая микроскопия, бриллюэновское рассеяние, лазерная фотоакустика.

Актуальность диссертационной работы.

Известно, что основные тенденции развития современного материаловедения, в частности материалов на полимерной основе, являются создание новых - инновационных композиционных материалов с улучшенными физико-химическими и эксплуатационно-технологическими свойствами. В последние десятилетия, эта тенденция стала ещё более актуальной в связи с появлением новых методов и технологий получения новых композиционных материалов с использованием различных микро- и нанодисперсных частиц. Допирование малых концентраций наноуглеродных частиц в матрицу полимеров приводит к существенным изменениям механических, физико-химических и технологических свойств исходных полимеров и таким образом, к созданию новых перспективных углеродсодержащих нанокомпозитов с «управляемыми» свойствами. Особый интерес представляют, углеродсодержащие нанокомпозитные полимерные материалы на основе наиболее распространённых и широко используемых полимерных материалов, к которым можно отнести, в частности, полиэтилен низкой плотности (ПЭНП), полиметилметакрилат (ПММА) и полистирол (ПС).

Объекты исследования. Исследования проводились на ПЭНП с молекулярной массой $M=6 \cdot 10^4$; аморфных полимерах ПММА ($M=8 \cdot 10^4$) и ПС ($M=28 \cdot 10^4$). Все образцы в виде тонких прозрачных плёнок были получены из растворов в ароматических растворителях (толуол, изомеры ксилола, дихлорбензол, бромбензол). В качестве допантов использовались углеродные наночастицы: фуллерены C_{60} , C_{70} и МУНТ, концентрация которых варьировалась в пределах $C=0,1 - 10$ масс. %.

Полученные результаты и их новизна

- зависимость морфологических структур поверхности и температуропроводности композитов на основе ПММА и ПЭНП от типа допируемых углеродных наночастиц и их концентрации и температуры;

- определена концентрационная зависимость энергии ширины запрещенной зоны (E_g) композитов на основе ПММА и ПС, выявлена общая тенденция уменьшения E_g с ростом концентрации наноуглеродных частиц в композите;

-- разработана компьютерная моделирующая программа для проведения численных ФА экспериментов, позволяющая провести анализ зависимости параметров ФА сигнала от фундаментальных теплофизических и оптических характеристик УНКПМ.

Область применения

1. В диссертации показано, что физико-химические свойства полимерных нанокомпозитов формируются уже на стадии их технологического формования. Это важно для физиков и химиков-технологов, занимающихся в области разработки технологии получения полимерных нанокомпозитов, с заданными свойствами.

2. Разработанные и усовершенствованные новые теоретические методы компьютерных моделирующих программ для углероднаполненных полимерных композитов и подобных им материалов позволяют произвести численные расчеты реального эксперимента, с целью обеспечения регулируемой оптической поглощательной способности в различных устройствах оптического назначения.

АННОТАТСИЯИ

диссертатсияи Авази Мирзо дар мавзуи «Таҳқиқи таъсири фуллеренҳо ва нанолулаҳои карбон ба сохтор ва хосиятҳои физикии баъзе полимерҳои аморфӣ ва кристаллӣ», барои дарёфти унвони илмӣ номзади илмҳои физикаю математика аз рӯи ихтисоси 01.04.07 – Физикаи муҳитҳои конденсӣ

Калидвожаҳо: полимер, зарраи нанокарбондор, нанокompозит, фуллеренҳои C_{60} ва C_{70} , нанолулаи карбондори бисёрқабата, сохтор, хосиятҳои физикӣ, дилатометрия, микроскопияи атомӣ-қуввагӣ, пароканиши Бриллюэни, фотоакустикаи лазерӣ

Мубраияти кори диссертатсионӣ. Маълум аст, ки тамоюлҳои асосии рушди маводшиносии муосир, авалхусус маводҳои полимерӣ, ин ҳосил кардани маводҳои нави композитии инноватсионии дорои хосиятҳои бехтаршудаи физикию химиявӣ ва коршояму технологӣ ба шумор меравад. Дар даҳсолаҳои охир ин тамоюл аз сабаби пайдоиши усулҳо ва технологияҳои нави истеҳсоли маводҳои нави композитӣ бо истифода аз зарраҳои гуногуни микро- ва нанодисперсия аҳамияти бештар пайдо кардааст. Иловаи концентратсияи ками зарраҳои нанокарбон ба матритсаи полимерӣ боиси тағйироти назаррас дар хосиятҳои механикӣ, физикию химиявӣ ва технологияи полимерҳои асли ва ба ин васила ба ҳосил кардани нанокompозитҳои нави умедбахши карбондор бо хосиятҳои “назоратшаванда” оварда мерасонад. Маводҳои полимери нанокompозитии карбондор дар асоси маводҳои полимери маъмултарин ва васеъ истифодашаванда, аз ҷумла полиэтилен зичиаш кам (ПЭЗК), полиметилметакрилат (ПММА) ва полистирол (ПС) мебошанд, таваҷҷӯҳи хоса доранд.

Объектҳои таҳқиқ. Таҳқиқот бо ПЭЗК массаи молекулавиаш $M=6 \cdot 10^4$, полимерҳои аморфӣ ПММА ($M=8 \cdot 10^4$) ва ПС ($M=28 \cdot 10^4$) гузаронида шуданд. Ҳама намунаҳо дар шакли пардаҳои тунуки шаффоф аз маҳлулҳо дар ҳалқунандаҳои хушбӯй (толуол, изомерҳои ксилол, дихлорбензол, бромбензол) ҳосил карда шудаанд. Нанозарраҳои карбон ҳамчун пурқунандаҳои истифода гардиданд. Концентратсияи фуллеренҳои C_{60} , C_{70} ва НКБ, дар соҳаи 0,1 - 10 % тағйир меёбанд.

Натиҷаҳои ҳосилшуда ва наwgонии онҳо

– вобастагии сохтори морфологии сатҳ ва ҳароратноқилияти композитҳо дар асоси ПММА ва ПЭЗК аз намуди нанозарраҳои карбон, концентратсия ва температура;

– вобастагии концентратсионии энергияи паҳноии минтақаи мамнуи (E_g) композитҳо дар асоси ПММА ва ПС муайян карда шуда ва тамоюли умумии камшавии E_g бо афзоиши концентратсияи зарраҳои нанокарбон дар композит;

– барномаи моделсозии компютерӣ барои гузаронидани таҷрибаҳои адабии ФА таҳия шудааст ва он имкон медиҳад, ки вобастагии параметрҳои сигнали ФА аз хусусиятҳои бунёдии гармофизикӣ ва оптикӣ МПНКК таҳлил карда шавад.

Соҳаи татбиқ

1. Дар рисола нишон дода шудааст, ки хосиятҳои физикӣ-химиявии нанокompозитҳои полимерӣ аллақай дар марҳилаи қолаббандии технологияи онҳо ташаккул меёбанд. Ин барои физикҳо ва технологҳои кимиёвӣ, ки дар таҳияи технологияи истеҳсоли нанокompозитҳои полимери дорои хосиятҳои муайян иштирок мекунанд, муҳим аст.

2. Усулҳои нави барномаҳои моделсозии компютерӣ барои композитҳои полимери карбондор ва маводҳои ба онҳо монанд коркард ва такмилгардида имконият медиҳанд, ки ҳисобҳои адабии ҳақиқӣ бо мақсади таъмин кардани қобилияти фурубурд дар таҷҳизотҳои оптикӣ таъинотҳои гуногун гузаронида шаванд.

ABSTRACT

dissertation of Awazi Mirzo, on the theme «Investigation of the influence of fullerenes and carbon nanotubes on the structure and physical properties of some amorphous and crystalline polymers», submitted for the degree of Candidate of Physical and Mathematical Sciences in the speciality 01.04.07- condensed state physics.

Keywords: polymer, nanocarbon particle, nanocomposite, C₆₀ and C₇₀ fullerenes, multi-walled carbon nanotube, structure, physical properties, dilatometry, atomic force microscopy, Brillouin scattering, laser photoacoustics.

The relevance of the dissertant work. It is known that the main trends in the development of modern materials science, in particular polymer-based materials, are the creation of new - innovative composite materials with improved physical, chemical and operational-technological properties. In recent decades, this trend has become even more relevant due to the emergence of new methods and technologies for obtaining new composite materials using various micro- and nanodisperse particles. Doping of small concentrations of nanocarbon particles into the matrix of polymers leads to significant changes in the mechanical, physicochemical and technological properties of the original polymers and thus to the creation of new promising carbon nanocomposites with «controlled» properties. Of particular interest are carbon nanocomposite polymeric materials based on the most common and widely used polymeric materials, which include, in particular, low-density polyethylene (LDPE), polymethylmethacrylate (PMMA) and polystyrene (PS).

Objects of study. The studies were carried out on LDPE with molecular weight $M=6 \cdot 10^4$; amorphous polymers PMMA ($M=8 \cdot 10^4$) and PS ($M=28 \cdot 10^4$). All samples in the form of thin transparent films were obtained from solutions in aromatic solvents (toluene, xylene isomers, dichlorobenzene, bromobenzene). Carbon nanoparticles were used as dopants: fullerenes C₆₀, C₇₀ and MWCNTs, the concentration of which varied in the range of $C=0.1 - 10$ wt%.

The results obtained and their novelty

– The dependence of surface morphological structures and thermal diffusivity of composites based on PMMA and LDPE on the type of doped carbon nanoparticles and their concentration and temperature;

– concentration dependence of the forbidden zone width energy (E_g) of composites based on PMMA and PS has been determined, the general tendency of E_g decrease with increasing concentration of nanocarbon particles in the composite has been revealed;

– a computer simulation program for numerical photoacoustic experiments has been developed, which makes it possible to analyse the dependence of photoacoustic signal parameters on the fundamental thermophysical and optical characteristics of carbon-filled composite materials.

Application area

1. The dissertation shows that the physicochemical properties of polymer nanocomposites are formed already at the stage of their technological molding. This is important for physicists and chemical technologists involved in the development of technology for producing polymer nanocomposites with specified properties.

2. Developed and improved new theoretical methods of computer modeling programs for carbon-filled polymer composites and similar materials make it possible to perform numerical calculations of a real experiment in order to ensure adjustable optical absorption capacity in various optical devices.