

ОТЗЫВ

официального оппонента по диссертации Иванова Дмитрия Анатольевича
«Новый комплекс методов *in situ* физико-химического анализа с использованием
синхротронного излучения», представленной к защите
на соискание ученой степени доктора химических наук
по специальности 1.4.4. Физическая химия

Одним из современных трендов развития физической химии конденсированного состояния в настоящее время является изучение так называемых «мягких материалов» (англ. - *soft matter*), то есть материалов, которые легко изменяют свою форму или состояние при изменении своей энергии на небольшую величину, сопоставимую с энергией теплового движения. «Строительными блоками» мягкой материи являются искусственные и натуральные небольшие молекулы, коллоиды, полимеры и биополимеры, липиды и везикулы, поверхностно-активные вещества, жидкие кристаллы и наночастицы. Структура таких материалов, которые являются, как правило, частично упорядоченными системами, не сводится к таким хорошо известным и описанным формам, как кристалл или простая жидкость. Для подобных систем характерным является множественный характер происходящих в них процессов и структурных превращений, изучение которых представляет не только теоретический, но и практический интерес с точки зрения возможности управления этими процессами при создании конечных функциональных соединений или материалов с заданными свойствами.

Для большинства современных перспективных материалов совершенство их структуры и возможность ее изменения во времени или в зависимости от температуры и других внешних условий, имеет определяющее значение, вследствие чего дальнейшее развитие физических методов их структурной диагностики, особенно – неразрушающих, является важным и перспективным направлением развития физической химии таких объектов.

По этой причине очень востребованными являются развитие и применение современных методов рентгеновского рассеяния с использованием высокоэффективных источников синхротронного излучения, которые позволяют контролировать изменения параметров надатомной и надмолекулярной структуры, в том числе с высоким временным разрешением, в сочетании с возможностью одновременного проведения дополнительного физико-химического анализа исследуемых объектов непосредственно в том месте, где проводятся их рентгеноструктурные исследования (*in situ*).

В связи с этим, диссертация Д.А. Иванова, посвященная разработке нового комплекса методологий физико-химического анализа для определения характеристик термического и деформационного поведения ряда ковалентных и супрамолекулярных полимеров, в которых синхротронное рентгеновское рассеяние применяется одновременно с дополнительными физико-химическими методами исследования,

такими как термический анализ, и/или при воздействии на образец внешних факторов, таких как температура, влажность, присутствие паров растворителя и механическая нагрузка, является, несомненно, актуальной и своевременной.

Диссертация Д.А. Иванова, представленная в виде научного доклада, состоит из введения (раздел 1), раздела 2, включающего основное содержание доклада и оформленного в виде восьми отдельных подразделов, заключения (раздел 3) и выводов (раздел 4). Диссертационная работа изложена на 66 страницах, содержит 33 рисунка и 3 таблицы. Список работ, опубликованных по теме диссертации (раздел 5), включает 51 наименование.

Во введении (раздел 1) сформулирована актуальность темы диссертации, цели и задачи диссертационной работы, научная новизна, практическая значимость работы, положения, выносимые на защиту.

В подразделе 2.1 приведены результаты исследования термического поведения и структуры неламеллярных термопластичных эластомеров (ТПЭ), условия структурообразования которых существенно влияют на кристалличность и, следовательно, физические свойства этого очень интересного, с точки зрения практического использования для биомедицинских приложений, класса термоэластопластов.

Объектами исследования являлись полностью алифатические сегментированные полиэфирамиды, содержащие жесткие сегменты бисоксаламида с разными терминальными группами (глицин и β -аланин) и мягкий блок на основе политетрагидрофурана (ПТГФ),

Для определения структуры, механических и теплофизических свойств ТПЭ диссидент использовал ИК-спектроскопию с преобразованием Фурье, синхротронное рассеяние рентгеновских лучей в малых и больших углах, реализованное одновременно с экспериментом по механической деформации, а также термическим анализом.

При исследовании термопластичных полиэфирамидов были получены результаты, представляющие большой научный интерес.

Так, анализ двумерных широкоугловых и малоугловых дифрактограмм для сополимера на основе глицина и ПТГФ позволил предложить хорошо обоснованную схематическую модель структурных изменений ТПЭ с однородными жесткими сегментами при одноосной деформации и оценить размеры фибриллярных кристаллов. Для исследования зависимости толщины кристаллов от термической истории сополимеров, была подготовлена и исследована серия образцов сегментированных полиэфирамидов, которые подвергались различной термической обработке.

Для исследования скорости кристаллизации полимера был использован специально разработанный нанотермоанализатор, в котором нанограммовые по весу

образцы ТПЭ и мономера нагревали выше температуры плавления, а затем охлаждали с различной скоростью. Было установлено, что температура кристаллизации мономера не зависела от скорости охлаждения, тогда как для соответствующего сополимера тот же режим обработки, при изменении скорости охлаждения расплава на четыре десятичных порядка, приводил к снижению температуры кристаллизации всего лишь на 26 °С.

Установлено, что «...толщина кристаллов в рассмотренных системах определяется исключительно первичной химической структурой и, практически, не зависит от термической истории, что является достаточно необычным для частично кристаллических полимеров...»

Подраздел 2.1 является, несомненно, интересным по содержанию и содержит научные результаты, оригинальность которых принадлежит автору диссертационной работы.

В качестве замечаний по материалам подраздела 2.1 можно отметить следующее.

1. Для обозначения исследованных образцов изотропных ТПЭ автор использует обозначения: 1000Gly6, 2000Gly6 и 2900Glyб, мономер Gly-Oxa26-Gly. Помимо обозначений, крайне желательно было бы привести соответствующие структурные формулы с пояснениями. Какое содержание жесткого блока в каждом из исследованных образцов? Какова молекулярная масса каждого из исследованных образцов?

2. «...Значения толщины кристаллов рассчитывались по положениям минимума форм-фактора...»

В целом понятно, что автор имеет здесь в виду. Однако соответствующее пояснение было бы не лишним. Тем более, что существует, например, хорошо известная процедура PEAK программного комплекса ATSAS для обработки данных малоуглового рассеяния, которая решает данную задачу более обоснованно и формализовано.

3. В подписи к рис. 3 на стр. 16 указано: «...Профили МУРР для изотропной (а) и ориентированной (б) пленок ПЭЭА...».

Но приведены ведь одномерные кривые рассеяния. И если для изотропной пленки это может быть или радиальное распределение интенсивности, или после интегрирования по азимутальному углу, то какое распределение приведено для ориентированной пленки – экваториальное, меридиональное, или какое-то усредненное?

4. Стр. 16-17. «...Сегментированные ТПЭ изучались в основном с помощью АСМ и ИК-спектроскопии, т.е. методов, хорошо подходящих для изучения относительно медленных процессов кристаллизации. Для исследования скорости кристаллизации полимера был использован разработанный нанотермоанализатор».

Автор, похоже, имел в виду, что обычно другие исследователи использовали в этом случае АСМ и ИК-спектроскопию, а он использовал нанотермоанализатор для

измерений *in situ*? Иначе две приведенные выше фразы не связаны логически друг с другом.

5. Стр. 18. «...Таким образом, толщина кристаллов в рассмотренных системах определяется исключительно первичной химической структурой и, практически, не зависит от термической истории, что является достаточно необычным для частично кристаллических полимеров...»

Хотелось здесь увидеть какое-либо, пусть даже гипотетическое, авторское объяснение этого результата. В чем причина: химическая структура, специфическое взаимодействие, молекулярная масса, что-то другое?

В подразделе 2.2 описаны результаты, полученные автором диссертационной работы при исследовании структуры и динамики сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ).

Для решения поставленной задачи автор использовал сочетание методов T_2 -релаксометрии ЯМР ^1H и синхротронного широко- и малоуглового рентгеновского рассеяния, что позволило изучать динамику и структуру не только упорядоченных, но также и аморфных областей частично кристаллических полимеров.

Было установлено, что полимерные кристаллы, имеющие складки на своей поверхности, «взрываются» при плавлении, и энергия полимерных клубков высвобождается, приводя к сверхбыстрому взаимопроникновению цепей, часто называемому «цепным взрывом». Быстрое уравновешивание плотности зацеплений при плавлении было продемонстрировано мгновенной потерей способности к вытяжке в полиэтилене низкой плотности (ПЭНП) и СВМПЭ, полученном литьем из раствора, а также быстрой самоадгезией пленок СВМПЭ, закристаллизованных в растворе.

Данный подраздел диссертации является очень «кратким» и занимает по объему всего лишь два абзаца.

Вместе с тем, результаты «камерных» работ автора в этой области имеют большое научное значение, особенно в связи с бурным ростом исследований в области управляемого синтеза СВМПЭ его переработки и применения, которое наблюдается в настоящее время во всем мире.

В подразделе 2.3 диссертационной работы Д.А. Иванова обсуждается структура и фазовые превращения в супрамолекулярных полимерах на основе клиновидных и дискотических мезогенов.

Термическое поведение и самоорганизация супрамолекулярных жидкокристаллических полимерных систем были исследованы с помощью оптической микроскопии в поляризованном свете, дифференциальной сканирующей калориметрии и малоуглового рассеяния рентгеновских лучей в зависимости от температуры, на примере двух серий полимеров (обычные гомополимеры и чередующиеся сополимеры), включающих основную цепь на основе региорегулярной политиофеновой последовательности и боковые мезогенные трифенилэны.

Было обнаружено, что исследованные полимеры самоорганизуются в мезофазы, обладающие комбинированной ламеллярно-колончатой морфологией, как результат существования ламеллярных и колончатых подрешеток, что имеет важное значение для электронных и оптоэлектронных приложений разрабатываемых материалов..

С использованием специально сконструированной измерительной ячейки для экспериментов при скользящем падении рентгеновского пучка, была изучена эволюция структуры тонких пленок исследуемых полимеров в парах растворителей. Показано, что в супрамолекулярных системах, содержащих ионные наноканалы, даже небольшое количество воды может эффективно создавать высокопроводящие пути для ионов. Кроме того, набухание колончатой структуры в парах воды приводило к фазовому переходу в биконтигуальные кубические фазы, сопровождающемуся образованием перколяционной сети ионпроводящих путей.

Полученные результаты позволили создать детальное представление о процессах, происходящих в системе, образующей ионные каналы, при набухании в воде, в том числе - с образованием мембран с эффективной ионной проводимостью.

По итогам завершения данной части диссертационной работы, была разработана и предложена для реализации новая методология создания механически стабильных нанопористых мембран с адаптированной структурой ионных каналов для применения в разделении и катализе.

В качестве замечаний по материалам подраздела 2.3 можно отметить следующее.

1. Стр. 20, подраздел 2.3, первый абзац.

«...Надмолекулярная структура конъюгированных полимерных систем является одним из ключевых параметров, определяющих их транспортные свойства...»

К настоящему времени для полимеров это уже является аксиомой, а не утверждением, требующим каких-то доказательств.

2. Стр. 20-21, последний абзац.

«...Данная стратегия обеспечивает путь к разработке полимерных материалов, обладающих двумя интеркалированными транспортными путями носителей заряда, что имеет важное значение для будущих электронных и оптоэлектронных приложений...»

Без приведения какой-то поясняющей структурной схемы, это утверждение «повисает в воздухе».

3. Обозначения супрамолекулярных структур, таких, как фазы Col_{hd} и Cub_{bi} , приведены «по факту», без каких-либо пояснений.

Подраздел 2.4 диссертационной работы Д.А. Иванова посвящен изучению структуры тонких пленок функциональных полимеров методом рентгеновского рассеяния при скользящем падении пучка.

Была исследована надмолекулярная структура тонких пленок функциональных полимеров, включающих донорно-акцепторные смеси для органической фотовольтаики.

Для решения задач исследования была использована разработанная автором специальная измерительная ячейка, позволяющая не только определять структуру тонких пленок в геометрии рентгеновского рассеяния при скользящем падении пучка, но и проводить измерения в условиях контролируемой влажности или в парах растворителей.

Преимущество использования метода рентгеновского рассеяния при скользящем падении пучка перед, например, методом электронной дифракции состоит в возможности исследовать тонкие пленки, нанесенные на субстрат (например - электрод в случае солнечных батарей), и проводить исследования непосредственно в ходе эксплуатации функциональных устройств.

С использованием разработанных методических подходов было выполнено исследование ориентации молекулярных плоскостей для фторированных сопряженных полимеров в тонких пленках. Установлено, что, вопреки результатам ряда публикаций, ориентация молекулярной плоскости полимера обусловлена длинными боковыми цепями, а не агрегацией в растворе, а увеличение объема боковой цепи способствует образованию кристаллических ламелей с планарно ориентированными цепями, причем независимо от их степени фторирования.

Установлено, что для исследуемого семейства полимеров фторирование и функционализация объемными алкильными боковыми цепями являются необходимыми условиями достижения эффективности преобразования энергии выше 10%, что является технологически привлекательным результатом.

В подразделе 2.5 рассмотрены вопросы развития методов микро- и нанофокусной рентгеновской дифракции для изучения полимерной морфологии.

В качестве основного объекта исследования в работе был выбран типичный ароматический сложный эфир, политриметилентерефталат (ПТГ) со средней молекулярной массой M_w 35200 г/моль и полидисперсностью $M_w/M_n=2$.

С использованием уникальных синхротронных методов микро- и нанофокусного рассеяния, автором диссертационной работы была проверена справедливость классической модели кольцевого сферолита, основанной на интуитивных предположениях, выдвинутых в работах исследователей *Keith* и *Padden*.

Д.А. Ивановым была изучена микроструктура кольцевых сферолитов ПТГ, определены оси быстрого роста кристаллов и их трехмерная форма. Установлены пары хиральных параметров, включающие полярность оси роста кристаллов (а или - а) и хиральность кристаллического геликоида (R или L). Показано, что при температуре кристаллизации около 180°C происходит инверсия одного из хиральных параметров, что объясняется увеличением толщины полимерного кристалла, приводящим к изменению конформации полимерных цепей на границе раздела кристаллической и аморфной фаз.

Для образца сравнения – полиэфира полипропиленадипината (ППА), методом субмикронной рентгенографии автором диссертационной работы было показано, что в отличие от ПТГ в кольцевых сферолитах ППА ламели имеют форму спирали с

кристаллами, навитыми на виртуальный цилиндр диаметром около 6 мкм. Угол спирали в 30° означает, что направление роста кристалла отклоняется от радиального направления сферолита на этот угол. Подобная трехмерная спиральная форма кристаллических ламелей в кольцевых сферолитах кристаллизующихся полимеров была обнаружена автором впервые.

Таким образом, подробное расширенное прецизионное исследование структуры полимерных кристаллов в составе кольцевых сферолитов, что являлось предметом исследований, описанных в разделе 2.5 диссертации Д.А. Иванова, позволило сделать общие заключения о том, какие структурные параметры описывают хиральность полимерных кристаллов и какова причина появления хиральности у кристаллов, образованных полимерными цепями, не имеющими в своей химической структуре хиральных центров.

Материалы подраздела 2.6 диссертационной работы посвящены описанию выполненных автором работ в области развития термического анализа на чипе и его интеграции в инфраструктуру синхротронных станций для проведения сверхбыстрых термических экспериментов *in situ*.

Основным элементом этого метода является нанотермический датчик, или сенсор, который пришел на смену макроскопической измерительной ячейке классического дифференциального сканирующего калориметра. Поскольку скорости нагрева и охлаждения, которые можно реализовать с использованием подобных устройств намного выше, чем в классической ДСК, для исследования становятся доступны гораздо меньшие по массе образцы, что позволяет проводить измерения, используя *in situ* сочетание термического анализа на чипе и рентгеновского рассеяния для одновременного изучения термодинамики и структуры частично кристаллических полимеров на локальной шкале.

Автором диссертационной работы разработан оригинальный нанотермоанализатор, который впоследствии был совмещен с синхротронной станцией ID13 в Европейском центре синхротронного излучения (*ESRF*). Дальнейшая апробация разработанной комбинации методов, включающих синхротронное рассеяние рентгеновских лучей с быстрым детектированием и сверхбыструю калориметрию на чипе, была проведена Д.А. Ивановым на примере модельного классического ароматического сложного эфира, политrimетилентерефталата (ПТТ), для которого результаты изучения морфологии сферолитов при умеренных скоростях кристаллизации представлены в предыдущем подразделе диссертации 2.5.

Им впервые были выполнены *in situ* рентгеноструктурные эксперименты со сверхбыстрыми нагревами (~ 1000°C/c), в ходе которых были получены двумерные картины рассеяния в мало- и широкоугловых областях с высоким временным разрешением (~ 1 мс на дифрактограмму при непрерывной регистрации дифрактограмм) и одновременно термоаналитические кривые для таких слаборассеивающих систем, как частично кристаллический ПТТ.

Подробный расширенный прецизионный анализ результатов рентгеноструктурного и теплофизического анализа в кинетических экспериментах по быстрому плавлению закристаллизованного ППТ, позволил диссертанту получить абсолютно уникальную диаграмму реорганизации кристаллической фазы ППТ в координатах «скорость нагрева – температура кристаллизации», которая вносит существенный вклад в научно-методологическое развитие области знания «физическая химия полимеров», поскольку позволяет обоснованно спланировать эксперимент по термическому анализу полимеров с исключением артефактных эффектов реорганизации.

Подраздел 2.7 диссертации Д.А. Иванова содержит результаты исследования структуры и термического поведения блок-сополимеров, включающих многолучевые структуры.

Выполненные соискателем эксперименты по просвечивающей электронной микроскопии, малоугловому рентгеновскому рассеянию позволили сделать вывод о том, как изменение архитектуры блок-сополимеров $[PS(PDMS)_2]$ или $PS(PDMS)_3$ относительно $PDMS(PS)_2$ или $PDMS(PS)_3$ влияет на свойства многолучевых блок-сополимеров, в которых высокая гибкость блока PDMS, связанная с лабильностью валентного угла в неорганической основной цепи, и жесткость аморфных сегментов блока PS, играют важную роль в определении равновесной морфологии материала.

Изучение молекулярной самосборки в тонких пленках подобных систем имеют большое значение для прогнозирования возможности использования их в нанотехнологиях.

В качестве замечания по материалам подраздела 2.7 можно отметить следующее.

Считает ли автор, что исследованные им системы являются действительно многолучевыми? Ведь количество блоков в блок-сополимере невелико, всего лишь 2 или 3.

В какой степени полученные автором результаты могут быть распространены на системы с большим числом блоков?

Заключительный основной **Подраздел 2.8** диссертационной работы Д.А. Иванова посвящен изучение структуры, молекулярных механизмов деформации и фазовых переходов в биомиметических блок-сополимерах, включающих щеточный блок.

Здесь описаны результаты экспериментов по исследованию взаимосвязи структуры и механических свойств блочных и графт-сополимеров, включающих в себя так называемый щеточный блок. Основной задачей данной части работы являлось создание новых биомиметических материалов, механика которых должна точно воспроизводить таковую для мягких живых тканей, что имеет несомненный практический интерес.

Были исследованы хромогенные эластомеры, образованные микрофазным разделением линейных триблочных сополимеров АВА, включающих в себя симметричные линейные терминальные блоки (А) и средний щеточный блок (В) с разной степенью полимеризации блоков А и В. Для физических испытаний тонкие пленки были приготовлены литьем из раствора.

Использование одноосной механической деформации, совмещенной с одновременным малоугловым рентгеновским рассеянием, позволило автору работы изучить механизмы деформационного поведения для серии биомиметических сополимеров, имеющих в своей химической структуре щеточный блок.

Использование синхротронных методов малоуглового и широкоуглового рассеяния с временным и температурным разрешением в сочетании с поляризационной оптической микроскопией позволили, в свою очередь, изучить иерархическую организацию щеточного эластомера с кристаллизующимися боковыми цепями, проследить за изменением конфигурации цепей в аморфных областях, расходом объемной аморфной фазы материала во время кристаллизации и определить состояние щеток в межламеллярных аморфных областях.

В целом, раздел 2.8, хорошо структурированный и хорошо иллюстрированный, с большим количеством интересных экспериментальных данных, производит впечатление своеобразной отдельной «мини-диссертации», с которой приятно ознакомиться читателю.

В качестве замечания по материалам подраздела 2.8 можно отметить следующее.

1. Стр. 46, первый абзац.

«...Аналогия между образцами кожи и пластомерами иллюстрируется сравнением кривых напряжения-деформации образцов М300-2 и М300-3 с кривыми свиной кожи, измеренными перпендикулярно и параллельно позвоночнику...»

Чей позвоночник? Реальная кожа свиньи деформируется по-разному в двух направлениях? Какая модель структурной организации такой конструкции? Как это реализовать в биомиметических полимерах?

2. Стр. 53, второй абзац.

«...Введение в полимерную архитектуру кристаллизующихся боковых цепей позволяет получить термопластические материалы с резким переходом от твердого состояния к сверхмягкому...».

Чем принципиально будет отличаться поведение щеточных эластомеров с кристаллизующимися и некристаллизующимися боковыми цепями?

Что лучше для максимального соответствия характеристикам мягких живых тканей?

Последние разделы 3. Заключение и 4. Выводы диссертационной работы суммируют совокупность полученных основных результатов работы.

Оценивая диссертационную работу Д.А. Иванова в целом, следует отметить, что она производит очень хорошее впечатление и содержит существенную научную новизну. Автором выполнен огромный объем высококачественной экспериментальной работы.

Диссертация правильно структурирована, написана понятным научным языком и отлично проиллюстрирована, что позволяет читателю разобраться в деталях выполненного эксперимента и теоретического анализа.

Выводы полностью соответствуют содержанию работы и полученным результатам.

Работа содержит минимальное количество несущественных опечаток.

Сделанные выше замечания-пожелания носят дискуссионный характер и не отражаются на общей высокой оценке работы.

В диссертации Д.А. Иванова выполнено решение важной научной задачи комплексного развития и применения взаимодополняющих методов *in situ* физико-химического анализа с использованием синхротронного излучения для изучения структуры, а также термических и механических свойств самого широкого класса органических и гибридных систем, что вносит существенный вклад в развитие области знания «Физическая химия».

Содержание и название диссертации соответствуют паспорту специальности 1.4.4 «Физическая химия» (отрасль науки – химические), в частности:

п.1 -экспериментально-теоретическое определение энергетических и структурно-динамических параметров строения молекул и молекулярных соединений;

п.2- экспериментальное определение термодинамических свойств веществ, расчет термодинамических функций простых и сложных систем, в том числе на основе методов статистической термодинамики, изучение термодинамических аспектов фазовых превращений и фазовых переходов;

п.6 - химические превращения, потоки массы, энергии и энтропии пространственных и временных структур в неравновесных системах;

п.7 - макрокинетика, механизмы сложных химических процессов, растворение и кристаллизация.

По объему выполненных исследований, своей актуальности, научной новизне и практической значимости, диссертация соответствует требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842 (с изменениями от 21 апреля 2016 г. №335) и пп. 2.1-2.5 «Положения о порядке присуждении ученых степеней в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова Российской Академии Наук» от 29 марта 2024 г., предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук.

Автор диссертации, **Иванов Дмитрий Анатольевич**, заслуживает присуждения степени доктора химических наук по специальности 1.4.4. Физическая химия.

Официальный оппонент:

Доктор химических наук
по специальности 01.04.19 – Физика полимеров
член-корреспондент РАН,
главный научный сотрудник,
заведующий отделом полимерных конструкционных материалов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова Российской академии наук (ИСПМ РАН).

Адрес места работы: 117393, Российская Федерация, Москва, ул. Профсоюзная, 70

Контактные данные:

Тел.: +7 (495) 332-58-46

Email: ozerin@ispm.ru




Озерин Александр Никифорович

«09 » августа 2024 г.

Согласен на обработку персональных данных

Озерин Александр Никифорович

«09 » августа 2024 г.

Подпись Озерины Александра Никифоровича удостоверяю.

Директор ИСПМ РАН,
чл.-корр. РАН, д.х.н.




С.А. Пономаренко

Сведения об официальном оппоненте

по диссертации Иванова Дмитрия Анатольевича на тему: «Новый комплекс методов *in situ* физико-химического анализа с использованием синхротронного излучения», представленной на соискание ученой степени доктора химических наук по специальности 1.4.4. Физическая химия (химические науки).

Фамилия Имя Отчество оппонента	Озерин Александр Никифорович
Шифр и наименование специальностей, по которым защищена диссертация	01.04.19 - физика полимеров
Год рождения, гражданство	1952, РФ
Ученая степень (отрасль наук)	доктор химических наук (физика)
Полное наименование организации, являющейся основным местом работы	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова Российской академии наук
Должность	главный научный сотрудник, заведующий отделом полимерных конструкционных материалов
Структурное подразделение	лаборатория структуры полимерных материалов
Почтовый адрес организации	117393 г. Москва, ул. Профсоюзная, 70
Официальный сайт	https://ispm.ru
Телефон	+74953325846
Адрес электронной почты	ozerin@ispm.ru
Список основных публикаций оппонента по теме диссертации соискателя в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет (не более 15 публикаций)	<p>1. Elnikova L., Ozerin A. N., Shevchenko V., Nedorezova P. M., Palaznik O. M., Ponomarenko A. T., Skoi V. V., Kuklin A. I. Disclinations and Fractons of Cosserat Elasticity in Isotactic Polypropylene Doped with Graphene and Nanographite Particles. // SSRN Electronic Journal, 2023. DOI: 10.2139/ssrn.4457476</p> <p>2. Lebedev O. V., Ozerin A., Kurkin T., Trofimov A. Multi-scale modeling of uniaxial deformation of electroconductive polypropylene/nanoparticles composites reinforced with woven glass fiber. // AIP Conference Proceedings, 2023, V. 2607, no. 1, 070006. DOI: 10.1063/5.0135838</p> <p>3. Golubev E.K., Kurkin T.S., Ozerin A.N.</p>

High-strength tapes prepared by the solid-state processing of nascent reactor powders of ultrahigh molecular weight polyethylene. // Russian Chemical Bulletin, 2023, V. 72, no. 3, P. 749-763. DOI: 10.1007/s11172-023-3839-3

4. Alaferdov A.V., Lebedev O.V., Roggero U.F.S, Hernandez-Figueroa H.E., Nista S.V.G, Trindade G.M., Danilov Yu A., **Ozerin A.N.**, Moshkalev S.A. Highly conductive nanographite/ultra-high-molecular-weight polyethylene composite. // Results in Materials, 2022, V. 15, no. 100298. DOI: 10.1016/j.rinma.2022.100298

5. Lebedev O. V., Goncharuk G. P., Yablokov M. Yu, Kurkin T. S., Piskarev M. S., Golubev E. K., **Ozerin A. N.** Migration of Electroconductive Carbon Nanoparticles in Polymer Composites Melts. // Macromolecular Symposia, 2022, V. 405, no. 1, P. 2100236. DOI: 10.1002/masy.202100236

6. Aleksandrov A.I., Shevchenko V.G., **Ozerin A.N.** Rheological Explosion in Polyethylenes with Different Chain Length. // Polymer Science, Series A, 2021, V. 63, no. 1, P. 34-38. DOI: 10.1134/s0965545x21010016

7. Lebedev O. V., **Ozerin A. N.**, Abaimov S. G. Multiscale Numerical Modeling for Prediction of Piezoresistive Effect for Polymer Composites with a Highly Segregated Structure. // Nanomaterials, 2021, V. 11, no. 1, 162. DOI: 10.3390/nano11010162

8. Lebedev O. V., Goncharuk G. P., **Ozerin A. N.** Changes in Electrical Conductance of Polymer Composites Melts Due to Carbon Nanofiller Particles Migration. // Polymers, 2021, V. 13, no. 7, 1030. DOI: 10.3390/polym13071030

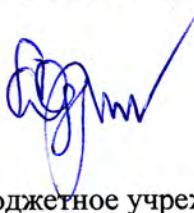
9. Elnikova L.V., **Ozerin A.N.**, Shevchenko V.G., Nedorezova P.M., Ponomarenko A.T., Skoi V.V., Kuklin A.I. Spatial structure and aggregation of carbon allotrope nanofillers in isotactic polypropylene composites

	studied by small-angle neutron scattering. // Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures, 2021, v. 29, no. 10, P. 783- 792. DOI: 10.1080/1536383x.2021.1896496
	10. Elnikova L.V., Ozerin A.N. , Shevchenko V.G., Nedorezova P.M., Palaznik O.M., Ponomarenko A.T., Skoi V.V., Kuklin A.I. Formation of Knots of Carbon Nanotubes in Isotactic Polypropylene Matrix due to the Results of Small-Angle Neutron Scattering and Lattice Numerical Simulation. // Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques, 2021, V. 15, no. 5, P. 885-889. DOI: 10.1134/s1027451021050049

Официальный оппонент:

главный научный сотрудник, заведующий отделом полимерных конструкционных
материалов

чл.-корр. РАН, д.х.н.



Александр Никифорович Озерин

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт синтетических
полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова Российской академии наук (ИСПМ РАН)
117393 г. Москва, ул. Профсоюзная, 70

Тел. +74953325846

Email: ozerin@ispm.ru

Подпись А.Н.Озерина удостоверяю.

Ученый секретарь ИСПМ РАН, к.х.н.



Е.В. Гетманова

18.04.2024

