

ОТЗЫВ официального оппонента
о диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук Наджарьяна Тимура
Артемовича
на тему: «Теория объёмных и поверхностных свойств магнитоактивных
эластомеров во внешних магнитных полях»
по специальности 02.00.06 – «высокомолекулярные соединения»

Диссертация Наджарьяна Тимура Артемовича посвящена теоретическому изучению магнитоактивных эластомеров (МАЭ): а именно, с различных позиций исследуется поведение МАЭ и их отдельных элементов в магнитных полях (их свойства и отклик на внешнее возбуждение). Работа была выполнена на кафедре физики полимеров и кристаллов физического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова в сотрудничестве с кафедрой магнетизма и с национальным медицинским исследовательским центром МНТК «Микрохирургия глаза» имени академика С.Н. Фёдорова.

Диссертация включает в себя введение, четыре главы, заключение, и список литературы.

Во введении автор обосновывает актуальность темы работы, относя МАЭ к современным так называемым «умным» полимерным материалам, состоящим из полимерной сетки и внедрённых в неё частиц ферромагнитного наполнителя различной природы и геометрии. Он отмечает, что, контролируя состав композита и конфигурацию внешнего магнитного поля, возможно управлять свойствами материала. Движение наполнителя, обусловленные внешним магнитным полем, межчастичным магнитным взаимодействием, и сопротивлением окружающей полимерной матрицы этому движению, определяют поведение материала на микроскопическом и макроскопическом масштабах. Кроме этого формулируются цели работы, постановка научной задачи, методы исследования, научная новизна, личный вклад автора,

достоверность, практическая и теоретическая значимость работы и основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе выполнен обзор научной литературы по теме исследования автора. Обзор включает четыре направления: (1) особенности поведения магнитоактивных эластомеров, (2) экспериментальные исследования магнитоактивных эластомеров, (3) моделирование на масштабах частиц наполнителя и (4) макроскопические модели МАЭ. Автор отмечает, что несмотря на многообразие работ, посвящённых изучению МАЭ, до сих пор не создано единой и последовательной теоретической картины процессов, происходящих в МАЭ, и являющихся следствиями их свойств.

Для описания поведения и свойств МАЭ автор применяет оригинальные реологические модели, для построения которых в работе использовался метод дробно-дифференциального анализа, что определяет характер последующего изложения материала.

Вторая глава посвящена описанию свойств МАЭ на основе дробно-дифференциальных реологических схем. В этой главе изложены основы построения динамических моделей с использованием дробно-дифференциальных элементов, конститутивные законы которых содержат операторы дифференцирования нецелого порядка. Такие модели могут описывать вязкоупругие свойства МАЭ и особенности их поведения в различных магнитных полях, имея достаточно простую форму. Данная глава описывает математический аппарат дробного дифференцирования, понятие дробного реологического элемента, дробную обобщенную модель Максвелла, проводит сравнение дробных реологических моделей и рассматривает методы решения конститутивного уравнения.

В третьей главе автор рассматривает взаимодействие МАЭ с внешним магнитным полем, создаваемым системой источников. Материал принимается за некий целостный физический объект с распределёнными

свойствами и характеристиками. Основной мотивацией автора при изучении взаимодействия МАЭ с магнитным полем послужило применение результатов исследований в глазной хирургии при оперативном лечении тяжёлых случаев отслоения сетчатки глаза. Данная глава описывает основные положения модели, основные соотношения, магнитные свойства образца и источника, взаимодействие МАЭ с внешним магнитным полем, а также влияние геометрических параметров системы на взаимодействие МАЭ с внешним магнитным полем. Кроме этого рассматривается система из МАЭ и источника магнитного поля с криволинейной геометрией, как имеющая непосредственное прикладное значение в офтальмологии.

В четвёртой главе исследуются поверхностные явления, относящиеся к МАЭ, которые принципиально отличаются от объёмных явлений из-за асимметрии, связанной с наличием свободной границы. Перестройка ферромагнитного наполнителя приводит к возникновению удлинённых в направлении внешнего поля пространственных структур и деформирует поверхность, из-за чего на поверхности МАЭ возникает рельеф. Материал четвёртой главы посвящен теоретическому описанию и моделированию такого рельефа для тонкого приповерхностного слоя МАЭ, содержащего анизотропный ферромагнитный наполнитель. В этой главе рассмотрены следующие вопросы: одночастичное приближение для приповерхностного слоя МАЭ, модель механических явлений в среде, энергия одночастичной ячейки, одночастичный поверхностный рельеф, система одночастичных ячеек, репрезентативный элемент слоя и рельеф на его поверхности, закономерности функции рельефа (скейлинг и мастер-кривые).

Оценивая диссертационную работу в целом, считаю необходимым отметить следующие ее положительные стороны. Работа написана четко и правильно структурирована. Обзор предшествующих работ и методов исследования, содержащийся в главе 1, проведен достаточно полно и дает ясное представление о характере рассматриваемых задач и месте

исследований автора. Поставленные задачи диссертант выполнил. Полученные результаты сформулированы четко и сомнений не вызывают. Работа написана понятно и хорошо оформлена. По результатам работы диссертантом опубликовано 6 статей в ведущих научных журналах (Web of Science/Scopus) и 7 тезисов докладов на российских и международных конференциях. Диссертант показал, что владеет необходимыми для успешной научной работы основами физики полимеров и компьютерного моделирования. Он безусловно является высококвалифицированным специалистом в области науки о полимерах. Важно, что автор не ограничился только теоретическими результатами, но и решил практически важные задачи, которые могут найти медицинское применение в глазной хирургии. В работе получены новые результаты, которые могут быть использованы в ИНЭОС РАН, ИХФ РАН, ИВС РАН, физическом и химическом факультетах МГУ и других научных учреждениях аналогичного профиля, а также в национальном медицинском исследовательском центре МНТК «Микрохирургия глаза» имени академика С.Н. Фёдорова.

Вместе с высокой оценкой работы считаю целесообразным сделать следующие замечания:

1. В последнее время признанной методологической основой математического моделирования полимерных нанокомпозитов, к которым относятся МАЭ, является мультимасштабный подход. В рамках данного подхода свойства объектов моделируются на различных пространственно-временных масштабах. В обзоре литературы главы 1 отсутствует обсуждение публикаций, относящихся к мезоскопическому масштабу, промежуточному между микро- и макроскопическим масштабами. Для мезоскопического моделирования оказываются эффективными метод самосогласованного среднего поля и родственные ему методы. По вопросам полевого мезоскопического моделирования полимерных нанокомпозитов в последнее время опубликовано немало работ.

2. В главах 2 и 4 автор предполагает наличие связи параметров дробности обобщённой модели Максвелла с внутренней структурой МАЭ и её изменениями под действием внешнего магнитного поля. Диссертант затронул очень интересный и глубокий вопрос о внутренней структуре МАЭ, который, как мне кажется, может быть исследован в дальнейшем. Рабочей гипотезой, на мой взгляд, могло бы быть предположение о фрактальном характере структуры МАЭ подобному тем примерам, что описаны в работах Б. Мандельброта. В связи с этим, в частности, было бы интересно понять, как соотносятся значения параметров дробности с фрактальной размерностью множества, моделирующего внутреннюю структуру МАЭ. Однако, последнее замечание следует рассматривать не как недостаток работы, а, скорее, как пожелание изучить этот вопрос в дальнейшем.

Сделанные замечания ни в коей мере не умаляют высокой оценки диссертационной работы Т.А. Наджарьяна и не влияют на главные теоретические результаты.

Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 02.00.06 – «высокомолекулярные соединения» (по физико-математическим наукам), удовлетворяет критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а также оформлена согласно п. 3.1 этого Положения. Автореферат правильно отражает содержание диссертации. Соискатель Наджарьян Тимур Артемович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 02.00.06 – «высокомолекулярные соединения».

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,
ведущий научный сотрудник отдела № 15

Федерального государственного учреждения "Федеральный
исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В.
Келдыша Российской академии наук" (ИПМ им. М.В. Келдыша РАН)

КРИКСИН Юрий Анатольевич

03.12.2020

Контактные данные:

тел.: , e-mail: kriksin@imamod.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация:

05.13.18 – «теоретические основы математического моделирования,
численные методы и комплексы программ»

Адрес места работы:

125047, г. Москва, Миусская площадь, д. 4,
Федеральное государственное учреждение "Федеральный исследовательский
центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской
академии наук", отдел № 15
Тел.: +7(499)2207222; e-mail: kriksin@imamod.ru

Подпись сотрудника Федерального государственного учреждения "Федеральный
исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша
Российской академии наук" Ю.А. Криксина удостоверяю:

Ученый секретарь И
кандидат физико-мат

А.И. Маслов
03.12.2020