ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

о диссертационной работе Бушуева Н.В.

«Пространственно-неоднородные структуры монослоев полимерных микрогелей различной архитектуры на жидких межфазных границах, полученные методами компьютерного моделирования»,

представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.4.7 - высокомолекулярные соединения

Бушуев Н.В. начал работать на кафедре физики полимеров и кристаллов под моим научным руководством со второго курса бакалавриата. Его первой исследовательской задачей стало изучение поведения монослоёв гомополимерных микрогелей, сформированных на межфазной границе типа «вода-масло». Для того, чтобы справиться с поставленной задачей, Никита Валерьевич освоил один из методов компьютерного моделирования – диссипативную динамику частиц. Результаты исследований по данной задаче стали основой его диплома бакалавра, который он защитил на оценку «отлично». После выпуска из бакалавриата Бушуев Н.В. поступил в магистратуру, где продолжил работать под моим научным руководством, и успешно защитил магистерскую диссертацию. В 2021 году он поступил в аспирантуру физического факультета МГУ на кафедру физики полимеров и кристаллов, продолжив научную работу. Во время обучения в аспирантуре Н. В. Бушуев проводил исследования, посвящённые изучению поведения микрогелей на межфазных границах и в растворах. Также за время обучения в аспирантуре им были успешно сданы экзамены кандидатского минимума. За все время работы Никиты Валерьевича под моим научным руководством были написаны и затем опубликованы 6 статей в высокорейтинговых научных журналах. Четыре из них легли в основу его диссертационной работы.

Диссертация посвящена исследованию монослоёв полимерных микрогелей различной архитектуры на жидких межфазных границах. Рассмотрено, как различные архитектуры микрогелей влияют на упорядочение частиц в монослоях, их способность понижать поверхностное натяжение между жидкостями и морфологию монослоёв. Обнаруженные и изученные в работе эффекты и особенности систем имеют как фундаментальную ценность, так и перспективу для практических применений.

Во второй главе диссертации исследуется поведение монослоёв гомополимерных микрогелей с пространственно-однородным распределением сшивок на межфазной границе «вода-масло». Показано, что с ростом плотности сшивки микрогели меньше «растекаются» в монослое, а коэффициент поверхностного натяжения снижается сильнее для слабо сшитых микрогелей. Обнаружено, что при симметричном взаимодействии с жидкостями, когда микрогели набухают в обеих жидкостях, они сильнее растекаются по межфазной границе и максимальное значение параметра гексагональной упаковки Ψ_6 оказывается выше. В ходе анализа структуры поверхности монослоёв было обнаружено, что для всех рассмотренных значений плотности сшивки максимум концентрации полимера достигается на межфазной границе.

В третьей главе исследуется ансамбль термочувствительных микрогелей со структурой «ядро-оболочка» на межфазной жидкой межфазной границе. Данная работа проводилась совместно с экспериментальной группой, параметры компьютерного

моделирования были соотнесены с реальными системами. Было показано, что влияние температуры на поведение монослоя появляется только когда в системе присутствуют контакты между ядрами. Коллапс носит квази-одномерный характер: значительно меняются только нормальные размеры микрогелей, а концентрация полимера на границе растёт. Десорбция происходит раньше из сколлапсированного монослоя. При температуре ниже НКТР наблюдается дополнительный режим сжатия ядер. Полученные данные согласуются с экспериментальными.

Четвёртая глава посвящена моделированию на жидкой межфазной границе монослоёв микрогелей, в сетке которых присутствует полость. Показано, что добавление полости в микрогель усиливает его деформацию на межфазной границе, а ансамбль таких частиц сильнее снижает коэффициент поверхностного натяжения в сравнении с частицами без полости. Гексагональное упорядочение таких частиц в монослое становится менее чувствительным к сжатию. Показано, что полость микрогеля способна «запоминать» фазу, из которой частицы адсорбируется на межфазную границу, и это состояние сохраняется при сжатии.

В последней главе диссертационной работы рассмотрены монослои диблок-сополимерных микрогелей (с симметричной композицией блоков) на жидкой межфазной границе. Показано формирование ламеллярной нанодоменной структуры на границе двух жидкостей в набухших микрогелях. Установлено, что данный эффект вызван несовместимостью двух жидкостей, а не блоков, и что перколяция жидкостей с разных сторон от границы раздела задаёт перпендикулярную ориентацию ламелей. Показано, что при сжатии монослоя ламели упорядочиваются вдоль оси сжатия, а при появлении контактов между частицами происходит распространение нанодоменной структуры на весь монослой.

В процессе выполнения поставленных задач и написания статей Бушуев Н.В. изучил большой объем научной литературы, приобрел навыки компьютерного моделирования и анализа данных. Проявил себя как сложившийся исследователь, способный самостоятельно формулировать задачи, анализировать и сопоставлять результаты с данными экспериментальных исследований.

Диссертационная работа Бушуева Н.В. выполнена на высоком научном уровне, удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, и рекомендуется к защите по специальности 1.4.7 – высокомолекулярные соединения.

Научный руководитель, профессор кафедры физики полимеров и кристаллов Физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, доктор физико-математических наук, профессор РАН

И.И. Потемкин
14.05.2026

Подпись И.И. Потемкина заверяю
Ученый секретарь Ученого совета Физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, профессор



Е.Н. Стремоухов