

Заключение диссертационного совета МГУ.013.3
по диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
Решение диссертационного совета от 11 сентября 2025 г. № 4

О присуждении Хао Уи, гражданину Китайской Народной Республики,
ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Агрегаты на основе ПАВ и наночастиц хитина в водной среде: многообразие структур и реологические свойства» по специальности 1.4.7. Высокомолекулярные соединения принята к защите диссертационным советом МГУ.013.3 24 июня 2025 г., протокол № 3.

Соискатель Хао Уи, 1995 года рождения, с 01.10.2020 г. по 30.09.2024 г. обучался в аспирантуре Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова».

Соискатель работает в должности специалиста издательского дела в научном издательстве MDPI (г. Ухань, Китай).

Диссертация выполнена на кафедре физики полимеров и кристаллов физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова».

Научный руководитель – Филиппова Ольга Евгеньевна, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры физики полимеров и кристаллов физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова».

Официальные оппоненты:

Ярославов Александр Анатольевич, доктор химических наук, профессор, член-корреспондент РАН, заведующий кафедрой высокомолекулярных соединений химического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»;

Клечковская Вера Всеволодовна, доктор физико-математических наук, профессор, заведующая лабораторией электронографии Института кристаллографии им. А.В.Шубникова РАН, Курчатовского комплекса кристаллографии и фотоники Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»;

Рижиков Юрий Леонидович, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории перспективных исследований мембранных белков Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» дали положительные отзывы на диссертацию.

Выбор официальных оппонентов обосновывался их профессиональной квалификацией и наличием публикаций в области высокомолекулярных соединений.

Соискатель имеет 3 опубликованные работы, все по теме диссертации, опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 1.4.7. Высокомолекулярные соединения (по физико-математическим наукам). Все статьи индексируются в базах данных Web of Science, Scopus и RSCI:

1. Hao W. Self-assembled double networks of chitin nanocrystals and wormlike surfactant micelles exhibiting heat-induced viscosity and elasticity enhancement / Hao W., Molchanov V.S., Chesnokov Y.M., Istomina A.P., Kharitonova E.P., Philippova O.E. // *Journal of Molecular Liquids*. — 2025. — Vol. 426. — P. 127318. Импакт-фактор 5,2 (JIF), вклад автора – 0,7. 1,5 п.л.

2. Hao W. Cryo-electron tomography study of the evolution of wormlike micelles to saturated networks and perforated vesicles / Hao W., Chesnokov Y.M., Molchanov V.S., Podlesnyi P.R., Kuklin A.I., Skoi V.V., Philippova O.E. // *Journal of Colloid and Interface Science*. — 2024. — Vol. 672. — P. 431–445. Импакт-фактор 9,7 (JIF), вклад автора – 0,4. 1,6 п.л.

3. Хао У. Эффект электростатических взаимодействий в червеобразных мицеллах ПАВ на основе бетаина и заряженного третичного амина с одинаковыми гидрофобными группами / Хао У., Молчанов В.С., Чесноков Ю.М., Подлесный П.Р., Филиппова О.Е. // *Коллоидный журнал*. — 2024. — Т. 86, № 2. — С. 294–302. Импакт-фактор 1,2 (IF), вклад автора – 0,7. 0,7 п.л.

Hao W. Effect of electrostatic interactions in wormlike micelles of surfactants based on betaine and charged tertiary amine with the same hydrophobic groups / Hao W., Molchanov V.S., Chesnokov Y.M., Podlesnyi P.R., Philippova O.E. // *Colloid Journal*. — 2024. — Vol. 86, No. 2 — P. 306–314. Импакт-фактор 1,4 (JIF), вклад автора – 0,7. 0,7 п.л.

На автореферат поступил 1 дополнительный положительный отзыв.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук является научно-квалификационной работой, в которой на основании совокупности выполненных автором исследований получены научные результаты и решены научные задачи, имеющие значение для развития физики высокомолекулярных соединений.

Основные результаты работы:

– Впервые обнаружены и охарактеризованы структурные переходы полимероподобных червеобразных мицелл: линейные мицеллы → разветвленные мицеллы → насыщенная сетка → перфорированные везикулы → везикулы. Переходы были вызваны увеличением доли незаряженного поверхностно-активного вещества олеиламидопропилдиметил амина в смеси с цвиттерионным поверхностно-активным веществом олеиламидопропилдиметил карбоксибетаином, что приводило к постепенному уменьшению отталкивания между гидрофильными головками червеобразных мицелл и увеличению параметра молекулярной упаковки при неизменном размере гидрофобных хвостов поверхностно-активного вещества.

– Показано, что формирование насыщенной сетки происходит в результате увеличения количества точек разветвления, содержащих фрагмент бислойной структуры, и полного исчезновения полусферических концов мицелл и зацеплений. Количественная оценка распределения

субцепей насыщенной сетки по длинам, проведенная впервые, показала, что распределение субцепей по длинам экспоненциальное и что по мере добавления незаряженного поверхностно-активного вещества средняя длина субцепей уменьшается.

– Обнаружено, что переход от 3D структуры насыщенной сетки к 2D структуре перфорированных везикул происходит, когда длина субцепей в сетке становится короче персистентной длины.

– Обнаружен переход от червеобразных к сферическим мицеллам поверхностно-активного вещества в смеси цвиттерионного поверхностно-активного вещества олеиламидопропилдиметил карбоксибетаина и катионного поверхностно-активного вещества на основе олеиламидопропилдиметил амина при увеличении доли последнего за счет усиления отталкивания между головными группами в мицелле.

– Впервые получены и исследованы стабильные двойные сетки полимерных нанокристаллов хитина и переплетенных червеобразных мицелл поверхностно-активного вещества цетилтриметиламмоний бромида в присутствии соли салицилата натрия. Показано, что при увеличении концентрации нанокристаллов хитина вязкость и модуль упругости растут на порядок, что объясняется образованием перколяционной сетки нанокристаллов хитина внутри сетки из переплетенных мицелл поверхностно-активного вещества, сопровождающимся микрофазным расслоением.

– Обнаружен новый тип физических сшивок между полимерными нанокристаллами и червеобразными мицеллами поверхностно-активного вещества, в которых протяженный участок мицеллы поверхностно-активного вещества адсорбируется на боковой поверхности нанокристалла.

– Показано, что при нагревании двойных сеток происходит увеличение вязкости и упругости, несмотря на уменьшение длины мицелл. Это связано с ростом фибриллоподобных агрегатов нанокристаллов хитина в длину и толщину.

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством. Положения, выносимые на защиту, содержат новые научные результаты и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку:

1. В водных растворах смеси цвиттерионного и незаряженного поверхностно-активного вещества с увеличением доли последнего происходят структурные переходы полимероподобных червеобразных мицелл в ряду: линейные мицеллы → разветвленные мицеллы → насыщенная сетка → перфорированные везикулы → везикулы, обусловленные уменьшением отталкивания между гидрофильными головками поверхностно-активного вещества и увеличением параметра молекулярной упаковки при неизменном размере гидрофобных хвостов поверхностно-активного вещества.

2. Образование и выделение в отдельную фазу насыщенной сетки происходит из-за увеличения количества точек разветвления, выступающих в качестве сшивок между червеобразными мицеллами, и полного исчезновения полусферических концов мицелл и зацеплений, при этом в насыщенной сетке наблюдается экспоненциальное распределение субцепей по длинам.

3. Переход от насыщенной трехмерной сетки к двумерным перфорированным везикулам происходит, когда длина субцепей становится меньше, чем их персистентная длина.

4. В водных растворах смеси цвиттерионного и катионного поверхностно-активного вещества при увеличении доли последнего происходит переход от линейных червеобразных мицелл к коротким стержнеобразным и сферическим мицеллам, обусловленный увеличением отталкивания между гидрофильными головками поверхностно-активного вещества и уменьшением параметра молекулярной упаковки при неизменном размере гидрофобных хвостов поверхностно-активного вещества.

5. Полимерные нанокристаллы хитина и переплетенные червеобразные мицеллы катионного поверхностно-активного вещества в водной среде формируют двойную сетку за счет образования перколяционной структуры фибриллоподобных агрегатов хитина, что приводит к микрофазному расслоению и возрастанию вязкости и модуля упругости на порядок.

6. Полимерные нанокристаллы хитина и червеобразные мицеллы ПАВ образуют новый тип физических сшивок за счет многоточечного присоединения мицеллы боковой частью к поверхности нанокристаллов.

7. При нагревании двойных сеток нанокристаллов хитина и червеобразных мицелл поверхностно-активного вещества происходит рост вязкости и упругости из-за увеличения длины и толщины фибриллоподобных агрегатов нанокристаллов хитина, хотя при этом длина червеобразных мицелл уменьшается.

На заседании 11.09.2025 г. диссертационный совет принял решение присудить Хао Уи ученую степень кандидата физико-математических наук специальности 1.4.7. Высокомолекулярные соединения.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 5 докторов наук по специальности 1.4.7. Высокомолекулярные соединения, участвовавших в заседании, из 18 человек, входящих в состав совета, проголосовали: «за» – 15, «против» – 0, недействительных бюллетеней – нет.

Заместитель председателя
диссертационного совета МГУ.013.3
доктор физико-математических наук,
профессор

А.В. Уваров

Ученый секретарь
диссертационного совета МГУ.013.3
кандидат физико-математических наук, доцент

И.А. Малышкина

11 сентября 2025 г.

Подписи А.В. Уварова и И.А. Малышкиной заверяю.
Ученый секретарь физического факультета МГУ,
профессор

С.Ю. Стремоухов