

# БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Ректор Белорусского  
государственного университета

А.Д.Король

15 июля 2024 г.

Регистрационный № УД- 13854/уч.



## ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Учебная программа учреждения образования по учебной дисциплине для  
специальностей:

### **1-31 05 01 Химия (по направлениям)**

1-31 05 01-01 Химия (научно-производственная деятельность)

1-31 05 01-02 Химия (научно-педагогическая деятельность)

1-31 05 01-03 Химия (фармацевтическая деятельность)

### **1-31 05 02 Химия лекарственных соединений**

**1-31 05 03 Химия высоких энергий**

**1-31 05 04 Фундаментальная химия**

2024 г.

Учебная программа составлена на основе образовательных стандартов ОСВО 1-31 05 01-2021, ОСВО 1-31 05 02-2021, ОСВО 1-31 05 03-2021, ОСВО 1-31 05 04-2021, учебных планов специальностей G-31-1-231/уч, G-31-1-232/уч, G-31-1-233/уч, G-31-1-235/уч, G-31-1-236/уч., G-31-1-237/уч. утвержденных 22.03.2022.

**СОСТАВИТЕЛЬ:**

**М.В. Шишенок**, профессор кафедры высокомолекулярных соединений химического факультета Белорусского государственного университета, кандидат химических наук, доцент.

**РЕЦЕНЗЕНТ:**

**А.В. Бильдюкевич**, директор Государственного научного учреждения «Институт физико-органической химии Национальной академии наук Беларуси», доктор химических наук, академик НАН Беларуси.

**РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:**

Кафедрой высокомолекулярных соединений БГУ  
(протокол № 11 от 20.06.2024);

Научно-методическим советом БГУ  
(протокол № 9 от 28.06.2024)

Декан химического факультета БГУ



А.В.Зураев

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

### Цели и задачи учебной дисциплины

**Цель учебной дисциплины** — приобретение знаний по химии и физике высокомолекулярных соединений, а также представлений о практической значимости полимеров и сополимеров. Такие знания необходимы каждому современному химику вне зависимости от его узкой специализации, тем более что свыше 50 % современных химиков имеют непосредственное отношение к высокомолекулярным соединениям.

### Задачи учебной дисциплины:

- 1) освоение номенклатурных систем и основных реакций синтеза и высокомолекулярных соединений;
- 2) познание механизмов и способов полимеризации для направленного регулирования структуры и свойств полимеров и сополимеров: конфигурации, конформации и гибкости цепи, молекулярно-массового распределения, фазового и релаксационного состояний, морфологии, растворимости, деформационного поведения, реакционной способности высокомолекулярных соединений.

**Место учебной дисциплины** в системе подготовки специалиста с высшим образованием.

Учебная дисциплина «Высокомолекулярные соединения» относится к модулю «Химия макромолекулярных и коллоидных систем» государственного компонента.

Учебная программа «Высокомолекулярные соединения» составлена с учетом межпредметных связей и программ по дисциплинам: «Высшая математика», «Физика», «Неорганическая химия», «Органическая химия», «Аналитическая химия», «Физическая химия», «Коллоидная химия», «Кристаллохимия», «Квантовая химия и строение молекул», «Физические методы исследования», «Современные полимерные материалы», «Полимерные материалы медицинского назначения».

### Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Высокомолекулярные соединения» должно обеспечить формирование следующих компетенций:

*Базовые профессиональные компетенции:*

Оценивать механизмы и способы полимеризации, структуру и свойства полимеров и сополимеров.

Анализировать коллоидно-химические закономерности образования и устойчивости дисперсных систем, механизмы и роль поверхностных явлений, возникающих на границе раздела фаз.

В результате освоения учебной дисциплины студент должен:

**знать:**

- основные понятия химии высокомолекулярных соединений;
- классификацию и номенклатуру высокомолекулярных соединений;
- механизмы и способы полимеризации с целью регулирования структуры и свойств полимеров и сополимеров;

**уметь:**

– использовать знания о закономерностях и методах синтеза, о структуре и свойствах высокомолекулярных соединений в научной, педагогической и производственной деятельности;

**владеть:**

– навыком получения и анализа высокомолекулярных соединений.

**Структура учебной дисциплины**

Дисциплина изучается в 5 семестре студентами специальности *Химия (фармацевтическая деятельность)*, 6 семестре студентами специальности *Химия (научно-производственная деятельность)*, (*научно-педагогическая деятельность*) и в 7 семестре студентами специальностей *Химия лекарственных соединений*, *Химия высоких энергий*, *Фундаментальная химия*. В соответствии с учебным планом всего на изучение учебной дисциплины «Высокомолекулярные соединения» отведено для очной формы получения высшего образования – 204 часа, в том числе 124 аудиторных часа, лекции – 52 часа, лабораторные занятия – 42 часа, практические занятия – 6 часов, семинарские занятия – 24 часа.

**Из них:**

лекции — 42 часа + 10 часов (ДОТ), лабораторные занятия — 42 часа, семинарские занятия — 18 часов, практические занятия — 6 часов, управляемая самостоятельная работа (УСР) – 6 часов.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 6 зачетных единиц.

Форма промежуточной аттестации — экзамен.

## **СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА**

### **Тема 1. Базовые представления о высокомолекулярных соединениях**

Этапы становления науки о высокомолекулярных соединениях. Открытие и доказательства цепного строения макромолекул.

Фундаментальные понятия и определения: макромолекула, мономер, мономерное звено, составное повторяющееся звено, степень полимеризации, контурная длина цепи, высокомолекулярное соединение, гомополимер, гетерополимер, олигомер.

Свойства высокомолекулярных соединений, обусловленные цепным строением макромолекул.

### **Тема 2. Классификация и номенклатура высокомолекулярных соединений**

Критерии классификации: происхождение высокомолекулярного соединения, структура цепи в целом, химический состав цепи, взаимное расположение мономерных и сомономерных звеньев. Природные, искусственные и синтетические высокомолекулярные соединения. Линейные, разветвленные, сшитые высокомолекулярные соединения. Органические, элементоорганические и неорганические высокомолекулярные соединения. Гомоцепные и гетероцепные высокомолекулярные соединения. Сополимеры: статистические, чередующиеся, блоксополимеры; привитые и сетчатые сополимеры. Номенклатурные системы ИЮПАК высокомолекулярных соединений: основанная на происхождении соединения; основанная на структуре высокомолекулярного соединения; тривиальные названия.

### **Тема 3. Структура макромолекулы**

Молекулярно-массовые характеристики высокомолекулярных соединений. Неоднородность по молекулярной массе. Среднечисловая, среднемассовая, среднеседиментационная ( $Z$ -средняя), средневязкостная молекулярная масса. Показатель полидисперсности. Степень неоднородности. Молекулярно-массовое и молекулярно-числовое распределение. Практическая значимость молекулярно-массовых характеристик.

Конфигурационная изомерия макромолекул. Стереогенные центры в полимерных цепях. Конфигурационные уровни макромолекулы: конфигурационное звено, ближний конфигурационный порядок, дальний конфигурационный порядок. Изотактические, синдиотактические, цистактические, транстактические, атактические макромолекулы. Влияние конфигурации макромолекул на структуру и свойства высокомолекулярных соединений.

Конформационная изомерия макромолекул. Конформационные уровни макромолекулы: конформация мономерного звена, ближний конформационный

порядок, дальний конформационный порядок, конформация цепи в целом стереорегулярных и нестереорегулярных высокомолекулярных соединений. Типичные конформации линейной цепи: складчатая, стержень, глобула, клубок.

Модель свободно-сочлененной цепи: вывод и анализ уравнения, связывающего среднеквадратичное расстояние между концами цепи с контурной длиной цепи. Модель с фиксированными валентными углами. Модель заторможенного вращения.

Термодинамическая гибкость макромолекулы. Определение понятия, количественные параметры: среднеквадратичное расстояние между концами цепи, среднеквадратичный радиус инерции макромолекулы, средняя длина сегмента Куна, степень асимметрии сегмента Куна. Методы определения длины сегмента Куна. Факторы, определяющие термодинамическую гибкость полимерной цепи. Термодинамически гибко- и жесткоцепные высокомолекулярные соединения.

Кинетическая гибкость макромолекулы. Определение понятия, количественные параметры. Факторы, определяющие кинетическую гибкость полимерной цепи. Методы определения длины кинетического сегмента. Кинетически гибко- и жесткоцепные высокомолекулярные соединения.

#### **Тема 4. Структура и физико-механические свойства полимерных тел**

Фазовые состояния высокомолекулярных соединений: аморфное, кристаллическое, жидкокристаллическое.

Надмолекулярная структура аморфных высокомолекулярных соединений. Модель перекрывающихся статистических клубков. Проходные цепи. Глобулярная надмолекулярная организация.

Релаксационные состояния аморфных высокомолекулярных соединений. Анализ термомеханической кривой полимера. Температуры релаксационных переходов. Типы деформаций аморфного полимера.

Стеклообразное состояние. Теории стеклования. Температура стеклования: определение понятия, факторы, влияющие на значение температуры стеклования. Критерий деления полимерных материалов на пластомеры и эластомеры. Свойства высокомолекулярных соединений в стеклообразном состоянии. Вынужденная эластичность аморфных полимеров. Механизм вынужденноэластической деформации аморфных полимеров. Предел вынужденной эластичности. Необходимые и достаточные условия для проявления вынужденной эластичности аморфных полимеров. Деформационные кривые стеклообразных полимеров. Ориентация аморфных полимеров в режиме вынужденноэластической деформации. Анизотропия высокомолекулярных соединений. Прочность и хрупкость полимеров.

Пластификация высокомолекулярных соединений. Правило Журкова. Правило Каргина и Малинского.

Высокоэластическое состояние. Термодинамика и механизм высокоэластических деформаций. Энтропийная природа высокоэластичности. Ориентация аморфных полимеров в режиме высокоэластической деформации.

Необходимые и достаточные условия для проявления высокоэластичности. Релаксационные свойства эластомеров: релаксация напряжения, релаксация деформации, упругий гистерезис. Принцип температурно-временной суперпозиции.

Необходимые и достаточные условия кристаллизации высокомолекулярных соединений. Кинетические особенности кристаллизации высокомолекулярных соединений.

Надмолекулярная структура кристаллических высокомолекулярных соединений. Строение кристаллитов, сферолитов, фибрилл, овоидов, дендритов. Специфические дефекты полимерных надмолекулярных образований. Неоднородность надмолекулярной структуры полимеров. Степень кристалличности.

Свойства кристаллических высокомолекулярных соединений. Вынужденная эластичность кристаллических полимеров. Механизм вынужденноэластической деформации кристаллических полимеров. Напряжение рекристаллизации. Необходимые и достаточные условия для проявления вынужденной эластичности кристаллических полимеров. Деформационные кривые кристаллических полимеров. Ориентация кристаллических полимеров в режиме вынужденноэластической деформации.

## **Тема 5. Высокомолекулярные соединения в жидком агрегатном состоянии**

Вязкотекучее состояние высокомолекулярных соединений. Механизм вязкого течения высокомолекулярных соединений. Влияние молекулярной массы и температуры вязкого течения на вязкость высокомолекулярного соединения. Ориентация и формование полимерных материалов в режиме пластической деформации.

Термотропные жидкокристаллические высокомолекулярные соединения: синтез, структура, свойства, применение.

Набухание. Внутрикристаллитное и межкристаллитное, ограниченное и неограниченное набухание. Факторы, определяющие тип, скорость и степень набухания. Кинетика набухания. Практическая значимость набухания.

Ограниченная растворимость высокомолекулярных соединений. Фазовые диаграммы систем высокомолекулярное соединение/растворитель. Критические температуры и концентрации смещения. Практическая значимость фазового разделения растворов. Фракционирование высокомолекулярных соединений.

Концентрированные растворы высокомолекулярных соединений: структура, свойства и применение.

Гели: получение, структура, свойства и применение.

Лиотропные жидкокристаллические высокомолекулярные соединения: синтез, структура, свойства, применение.

Термодинамическая теория растворов высокомолекулярных соединений. Модель регулярного раствора. Вывод и анализ уравнения состояния высокомолекулярного соединения в растворе (уравнения осмотического

давления). Комбинаториальная энтропия смешения. Энтальпия смешения. Параметр Флори и Хаггинса; второй вириальный коэффициент.  $\theta$ -условия. Коэффициент набухания макромолекулы.

Определение среднечисловой молекулярной массы методом осмометрии и анализом концевых групп. Определение среднемассовой молекулярной массы методом светорассеяния. Определение среднеседиментационной молекулярной массы методом ультрацентрифугирования.

Типы вязкостей разбавленного раствора высокомолекулярного соединения. Уравнение Хаггинса. Уравнение Крамера. Определение средневязкостной молекулярной массы, среднеквадратичного расстояния между концами цепи и коэффициента набухания макромолекулы методом вискозиметрии.

Полиэлектролиты. Классификация полиэлектролитов. Полиэлектролитное набухание. Изоэлектрическая точка. Интерполимерные реакции. Полиэлектролитные комплексы.

## **Тема 6. Поликонденсация**

Ступенчатый механизм роста цепи. Классификация реакций поликонденсации: гомополиконденсация, гетерополиконденсация, сополиконденсация; гомофункциональная и гетерофункциональная поликонденсация; линейная, трехмерная и полициклоконденсация; равновесная и неравновесная поликонденсация. Поликонденсация в расплаве, растворе, твердой фазе. Межфазная поликонденсация. Реакции полиэтерификации, полиамидирования, полиимидирования. Реакции синтеза полиуретанов.

Кинетика линейной поликонденсации. Скорость поликонденсации. Степень завершенности поликонденсации, средняя функциональность реакционной системы и среднечисловая степень полимеризации (уравнение Карозерса). Стехиометрия реагентов и среднечисловая степень полимеризации. Монофункциональные примеси и среднечисловая степень полимеризации. Молекулярно-массовое распределение продуктов линейной поликонденсации (уравнение Флори). Особенности трехмерной поликонденсации. Точка гелеобразования.

## **Тема 7. Радикальная полимеризация**

Цепной механизм роста цепи. Классификация реакций полимеризации: гомополимеризация и гетерополимеризация (сополимеризация). Блочная, эмульсионная, суспензионная полимеризация и полимеризация в растворе.

Реакционная способность мономеров и радикалов.

Реакции инициирования, роста, передачи и обрыва цепи. Фотохимическое, радиохимическое, фотонное, термическое, химическое инициирование. Изомеризационная полимеризация. Теломеризация. Ингибирование.

Кинетика радикальной полимеризации при малых степенях превращения. Скорость радикальной полимеризации. Вывод и анализ соответствующего



уравнения. Среднечисловая степень полимеризации. Вывод и анализ соответствующего уравнения. Длина кинетической цепи. Гель-эффект.

Радикальная сополимеризация. Уравнение состава сополимера. Схема Алфрея – Прайса ( $Q-e$ ).

## **Тема 8. Ионная полимеризация**

Катионная полимеризация. Мономеры, катализаторы и сокатализаторы катионной полимеризации. Реакции инициирования, роста, передачи и обрыва цепи. Изомеризационная полимеризация. Кинетика катионной полимеризации. Вывод и анализ уравнения скорости катионной полимеризации. Вывод и анализ уравнения среднечисловой степени полимеризации.

Анионная полимеризация. Мономеры и катализаторы анионной полимеризации. Инициирование по механизму присоединения аниона. Инициирование путем переноса электрона. Инициирование металлоорганическими соединениями. Реакции инициирования, роста, передачи и обрыва цепи.

«Живая» анионная полимеризация. Синтез, структура и свойства блоксополимеров.

Кинетика анионной полимеризации. Скорость анионной и «живой» анионной полимеризации. Вывод и анализ соответствующих уравнений. Среднечисловая молекулярная масса продуктов анионной и «живой» анионной полимеризации. Вывод и анализ соответствующих уравнений.

Анионно-координационная полимеризация. Синтез цистактических и трансактических высокомолекулярных соединений.

Стереоспецифическая полимеризация на катализаторах Циглера – Натта.

## **Тема 9. Химические реакции высокомолекулярных соединений**

Особенности реагирования высокомолекулярных соединений. Надмолекулярные, конформационные и конфигурационные эффекты.

Классификация реакций высокомолекулярных соединений. Критерий классификации.

Полимераналогичные превращения.

Сшивание. Классификация реакций сшивания. Синтез, структура и свойства сшитых высокомолекулярных соединений.

Привитая сополимеризация: свободнорадикальная, по реакциям ионной полимеризации, по реакциям поликонденсации.

Деструкция макромолекул. Деполимеризация макромолекул. Принципы стабилизации высокомолекулярных соединений.

## **Тема 10. Характеристика (синтез, структура, свойства и применение) важнейших представителей высокомолекулярных соединений**

Гомоцепные полимеры: полиэтилен (высокого давления и низкого давления), *it*-полипропилен, *at*-поливинилхлорид, *at*-полистирол,

политетрафторэтилен, *at*-полиакрилонитрил, *at*-полиметилметакрилат, *at*-поливиниловый спирт и его производные, *at*-поли-N-винил-2-пирролидон. Сополимеры виниловых мономеров. Полимеры и сополимеры диеновых мономеров: бута-1,3-диена, изопрена, хлоропрена. Фенолоформальдегидные олигомерные и высокомолекулярные соединения.

Гетероцепные высокомолекулярные соединения: простые и сложные полиэфиры, полиацетали (целлюлоза и ее производные, амилоза), полиамиды, полиимиды, полиуретаны, полисилоксаны.

Термореактопласты и термопласты; термоэластопласты, каучуки и резины; волокна и пленки.

## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Очная (дневная) форма получения высшего образования с применением  
дистанционных образовательных технологий (ДОТ)

Номер темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Базовые представления о высокомолекулярных соединениях	2						устный фронтальный опрос
2	Классификация и номенклатура высокомолекулярных соединений	4		2				устный фронтальный опрос
3	Структура макромолекулы	10 + 2 (ДОТ)		2	6			устный опрос на семинаре; отчет по лабораторной работе; письменная контрольная работа
4	Структура и физико-механические свойства полимерных тел	8 + 2 (ДОТ)	2	4	6		2	решение расчетных задач; устный опрос на семинаре; отчет по лабораторной работе; письменная контрольная работа
5	Высокомолекулярные соединения в жидком агрегатном состоянии	8 + 2 (ДОТ)	2	2	6		2	устный опрос на семинаре; решение расчетных задач; отчет по лабораторной работе; письменная

								контрольная работа
6	Поликонденсация	2 (ДОТ )		2	6			устный опрос на семинаре; отчет по лабораторной работе; письменная контрольная работа
7	Радикальная полимеризация	2		2	6			устный опрос на семинаре; отчет по лабораторной работе
8	Ионная полимеризация	8	2	2			2	решение расчетных задач; письменная контрольная работа
9	Химические реакции высокомолекулярных соединений	2 (ДОТ )		2	6			устный опрос на семинаре; отчет по лабораторной работе
10	Характеристика важнейших представителей высокомолекулярных соединений				6			отчет по лабораторной работе; устный фронтальный опрос

## ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### Основная литература

1. Шишенок, М. В. Химия высокомолекулярных соединений : учебное пособие для студентов учреждений высшего образования по химическим и химико-технологическим специальностям / М. В. Шишенок. — Минск : Вышэйшая школа, 2021. — 624 с.
2. Шишенок, М. В. Модификация полимеров : учебник для студентов учреждений высшего образования по группе специальностей «Химия» и специальностям «Производство изделий из композиционных материалов», «Производство и переработка полимерных материалов» / М. В. Шишенок. — Минск : Адукацыя і выхаванне, 2024. — 328 с.

### Дополнительная литература

1. Шишенок, М. В. Высокомолекулярные соединения: программы и практические задания : учебно-методическое пособие для студентов специальности «Химия» / М. В. Шишенок, Л. П. Круль. — Минск : БГУ, 2006. — 47 с.
2. Шишенок, М. В. Основы химии высокомолекулярных соединений : учебное пособие для студентов высших учебных заведений по химическим и химико-технологическим специальностям / М. В. Шишенок, Л. П. Круль. — Минск : БГУ, 2010. — 159 с.
3. Шишенок, М. В. Высокомолекулярные соединения : учеб. пособие для студентов учреждений высшего образования по химическим и химико-технологическим специальностям / М. В. Шишенок. — Минск : Вышэйшая школа, 2012. — 535 с.
4. Семчиков, Ю. Д. Высокомолекулярные соединения : учебник для студентов высших учебных заведений по специальности «Химия» / Ю. Д. Семчиков. — М. : Академия, 2003. — 368 с.
5. Геллер, Б. Э. Практическое руководство по физикохимии волокнообразующих полимеров : учебное пособие для вузов по направлению «Химическая технология и биотехнология», специальность «Химическая технология высокомолекулярных соединений» / Б. Э. Геллер, А. А. Геллер, В. Г. Чиртулов. М.: Химия, 1996. — 432 с.

### Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой отметки

Для диагностики компетенций могут использоваться следующие средства текущей аттестации:

- 1) отчет о выполнении лабораторных исследований;
- 2) устный фронтальный опрос;

- 3) решение расчетных задач;
- 4) устный опрос на семинарских занятиях;
- 5) письменная контрольная работа.

Формой промежуточной аттестации по дисциплине «Высокомолекулярные соединения» учебным планом предусмотрен экзамен.

Для формирования итоговой отметки по учебной дисциплине используется модульно-рейтинговая система оценки знаний магистранта, позволяющая проследить и оценить процесс достижения целей обучения. Рейтинговая система предусматривает использование весовых коэффициентов для текущей и промежуточной аттестации магистрантов по учебной дисциплине.

Формирование итоговой отметки в ходе проведения контрольных мероприятий текущей аттестации (примерные весовые коэффициенты, определяющие вклад текущей аттестации в отметку при прохождении промежуточной аттестации):

- отчеты по лабораторным работам — 25 %;
- ответы на фронтальных опросах — 25 %;
- ответы на семинарских занятиях — 25 %;
- результаты письменных контрольных работ — 25 %.

Итоговая отметка по дисциплине рассчитывается на основе итоговой отметки текущей аттестации (модульно-рейтинговой системы оценки знаний) 40 % и экзаменационной отметки 60 %.

### **Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы**

***Тема 4. Структура и физико-механические свойства полимерных тел (2 часа)***

***Тема 5. Высокомолекулярные соединения в жидком агрегатном состоянии (2 часа)***

***Тема 8. Ионная полимеризация (2 часа)***

Задания:

1. Написать необходимые и достаточные условия, а также уравнения реакций элементарных стадий гетерополимеризации "живых" цепей полистирола и предложенного Вами сомомера. Указать название продукта реакции по номенклатурной системе ИЮПАК, основанной на происхождении. Охарактеризовать и обосновать фазовое состояние высокомолекулярного продукта приведенных реакций.

2. Написать необходимые и достаточные условия, а также уравнения реакций элементарных стадий гомополимеризации нитрила метакриловой кислоты в присутствии амида натрия и аммиака. Привести полный расчет изменения среднечисловой молекулярной массы полимера при уменьшении концентрации мономера в 1,5 раза.

3. Написать необходимые и достаточные условия, а также уравнения реакций полимеризации 6-метилгепт-1-ена. Привести и обосновать название продукта реакции по номенклатурным системам ИЮПАК. Указать ближний и дальний конфигурационный порядок высокомолекулярного продукта.

(Форма контроля – решение расчетных задач, письменная контрольная работа)

### **Примерный перечень лабораторных занятий**

1. Водозмульсионная полимеризация бутилметакрилата
2. Водозмульсионная полимеризация винилацетата
3. Суспензионная полимеризация бутилметакрилата
4. Суспензионная полимеризация стирола
5. Поликонденсация фталевого ангидрида и глицерина
6. Олигоконденсация адипиновой кислоты и этиленгликоля
7. Олигоконденсация фенола и формальдегида в кислой среде
8. Олигоконденсация фенола и формальдегида в щелочной среде
9. Олигоконденсация карбамида и формальдегида
10. Полимераналогичные превращения
11. Привитая сополимеризация
12. Фотодеструкция высокомолекулярного соединения
13. Определение среднечисловой молекулярной массы высокомолекулярного соединения
14. Определение средневязкостной молекулярной массы высокомолекулярного соединения
15. Определение коэффициента набухания макромолекулы
16. Оценка полидисперсности высокомолекулярного соединения
17. Определение размера надмолекулярных образований в растворе высокомолекулярного соединения методом спектра мутности
18. Определение скорости набухания сшитого высокомолекулярного соединения
19. Оценка параметров сетки сшитого высокомолекулярного соединения
20. Исследование морфологии кристаллизующихся полимеров

### **Примерная тематика семинарских занятий**

1. Семинар №1. Макромолекулярная структура
2. Семинар №2. Надмолекулярная структура
3. Семинар №3. Растворы высокомолекулярных соединений
4. Семинар №4. Поликонденсация
5. Семинар №5. Радикальная полимеризация
6. Семинар №6. Химические превращения высокомолекулярных соединений

## Примерная тематика практических занятий

1. Практическое занятие №1. Решение ситуационных задач по оценке параметров полимерных цепей, фазовой и морфологической структуры, релаксационного состояния полимеров.
2. Практическое занятие №2. Решение ситуационных задач по оценке поведения полимерных цепей в растворах.
3. Практическое занятие №3. Решение ситуационных задач по расчету скорости полимеризации и среднечисловой степени полимеризации.

## Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса используется *эвристический подход*, который предполагает:

- осуществление студентами личностно-значимых открытий окружающего мира;
- демонстрацию многообразия решений большинства профессиональных задач и жизненных проблем;
- творческую самореализацию обучающихся в процессе создания образовательных продуктов;
- индивидуализацию обучения через возможность самостоятельно ставить цели, осуществлять рефлекссию собственной образовательной деятельности.

При организации образовательного процесса используются также *методы и приемы развития критического мышления*, которые представляют собой систему, формирующую навыки работы с информацией в процессе чтения и письма; понимания информации как отправного, а не конечного пункта критического мышления.

## Методические рекомендации по организации самостоятельной работы

Для организации самостоятельной работы рекомендуется использовать современные информационные ресурсы:

- печатные и электронные учебники, учебные пособия, представленные в библиотеке химического факультета БГУ, в том числе рекомендованные в списках основной и дополнительной литературы;
- учебно-методические материалы, электронные информационные ресурсы, размещенные на образовательном портале БГУ [educhem.bsu.ru](http://educhem.bsu.ru).

## Примерный перечень вопросов к экзамену

1. *Классификация высокомолекулярных соединений.* Природные, искусственные и синтетические высокомолекулярные соединения. Линейные, разветвленные, сшитые высокомолекулярные соединения. Органические,



элементоорганические и неорганические высокомолекулярные соединения. Гомоцепные и гетероцепные высокомолекулярные соединения. Статистические сополимеры, чередующиеся сополимеры, блоксополимеры, привитые сополимеры.

2. *Номенклатура высокомолекулярных соединений.* Номенклатурная система ИЮПАК, основанная на происхождении высокомолекулярных соединений; система ИЮПАК, основанная на структуре высокомолекулярных соединений. Альтернативные номенклатурные системы. Тривиальные названия.

3. *Структура макромолекулы.* Структура цепи в целом. Степень разветвленности. Степень сшивания. Контурная длина макромолекулы. Степень асимметрии макромолекулы. Среднечисловая, среднемассовая, среднеседиментационная (*Z*-средняя), средневязкостная молекулярная масса. Показатель полидисперсности. Степень неоднородности. Кривые молекулярно-массового и молекулярно-числового распределения. Практическая значимость молекулярно-массовых характеристик.

Конфигурационные уровни макромолекулы: конфигурационное звено, конфигурация мономерного звена, ближний конфигурационный порядок, дальний конфигурационный порядок. Конфигурационная изомерия макромолекул. Изотактические, синдиотактические, цистактические, транстактические, атактические макромолекулы. Влияние конфигурации макромолекул на фазовую структуру и свойства высокомолекулярных соединений.

Конформационные уровни макромолекулы: конформация мономерного звена, ближний конформационный порядок, дальний конформационный порядок, конформация цепи в целом. Конформационная изомерия макромолекул. Складчатая конформация, стержень, глобула, клубок. Количественные параметры конформационных изомеров.

Модель свободно-сочлененной цепи: вывод и анализ уравнения, связывающего среднеквадратичное расстояние между концами цепи с контурной длиной цепи. Модель с фиксированными валентными углами. Модель заторможенного вращения.

Термодинамическая гибкость цепи. Определение понятия, количественные параметры гибкости: среднеквадратичное расстояние между концами цепи, среднеквадратичный радиус инерции цепи, длина и степень асимметрии сегмента Куна. Факторы, определяющие длину сегмента Куна. Термодинамически гибко- и жесткоцепные соединения: критерии деления, формулы отдельных представителей. Методы определения длины сегмента Куна. Кинетическая гибкость цепи. Определение понятия. Количественные параметры кинетической гибкости. Факторы, определяющие длину кинетического сегмента. Кинетически гибко- и жесткоцепные соединения: критерии деления, формулы отдельных представителей. Методы определения длины кинетического сегмента.

4. *Структура и физико-механические свойства полимерных тел.* Фазовые состояния высокомолекулярных соединений: аморфное, кристаллическое, жидкокристаллическое. Морфологическая структура

аморфных высокомолекулярных соединений. Модель перекрывающихся статистических клубков. Проходные цепи. Глобулярная надмолекулярная организация.

Релаксационные состояния. Стеклообразное состояние. Температура хрупкости. Температура стеклования. Факторы, влияющие на значение температуры стеклования. Свойства высокомолекулярных соединений в стеклообразном состоянии. Вынужденная эластичность аморфных полимеров. Механизм вынужденноэластической деформации аморфных полимеров. Предел вынужденной эластичности. Необходимые и достаточные условия для проявления вынужденной эластичности аморфных полимеров. Деформационные кривые стеклообразных полимеров. Ориентация аморфных полимеров в режиме вынужденноэластической деформации. Анизотропия высокомолекулярных соединений. Прочность и хрупкость полимеров.

Пластификация. Пластификаторы. Правило Журкова. Правило Каргина и Малинского.

Высокоэластическое состояние. Термодинамика и механизм высокоэластических деформаций. Энтропийная природа высокоэластичности. Ориентация аморфных полимеров в режиме высокоэластической деформации. Необходимые и достаточные условия для проявления высокоэластичности. Релаксационные свойства эластомеров: релаксация напряжения, релаксация деформации, упругий гистерезис. Принцип температурно-временной суперпозиции. Ориентация аморфных полимеров в режиме высокоэластической деформации.

Вязкотекучее состояние. Температура текучести. Механизм вязкого течения полимеров. Влияние молекулярной массы и температуры вязкого течения на вязкость полимера. Ориентация и формование полимерных материалов в режиме пластической деформации.

Термотропные жидкокристаллические высокомолекулярные соединения: синтез, структура, свойства, применение.

Необходимые и достаточные условия кристаллизации высокомолекулярных соединений. Кинетические особенности кристаллизации высокомолекулярных соединений. Надмолекулярная структура кристаллических высокомолекулярных соединений. Строение монокристаллов, кристаллитов, сферолитов, фибрилл. Специфические дефекты полимерных надмолекулярных образований. Неоднородность надмолекулярной структуры высокомолекулярных соединений. Степень кристалличности. Свойства кристаллических высокомолекулярных соединений. Вынужденная эластичность кристаллических полимеров. Механизм вынужденноэластической деформации кристаллических полимеров. Напряжение рекристаллизации. Необходимые и достаточные условия для проявления вынужденной эластичности кристаллических полимеров. Деформационные кривые кристаллических полимеров. Ориентация кристаллических полимеров в режиме вынужденноэластической деформации.

5. *Высокомолекулярные соединения в жидком агрегатном состоянии.* Внутрикристаллитное и межкристаллитное, ограниченное и неограниченное

набухание. Факторы, определяющие тип, скорость и степень набухания. Кинетика набухания. Практическая значимость набухания.

Ограниченная растворимость высокомолекулярных соединений. Фазовые диаграммы систем высокомолекулярное соединение/растворитель. Критические температуры и концентрации смешения. Практическая значимость фазового разделения растворов. Фракционирование высокомолекулярных соединений.

Разбавленные и концентрированные растворы высокомолекулярных соединений: структура, свойства и применение.

Гели: получение, структура, свойства и применение.

Лиотропные жидкокристаллические высокомолекулярные соединения: синтез, структура, свойства, применение.

Термодинамическая теория растворов Флори и Хаггинса. Модель регулярного раствора. Вывод и анализ уравнения состояния высокомолекулярного соединения в растворе. Комбинаториальная энтропия смешения. Энтальпия смешения. Параметр Флори и Хаггинса; второй вириальный коэффициент и методы его определения.  $\Theta$ -условия. Коэффициент набухания макромолекулы.

Определение среднечисловой молекулярной массы методом осмометрии и анализом концевых групп. Определение среднемассовой молекулярной массы методом светорассеяния. Определение среднеседиментационной молекулярной массы методом ультрацентрифугирования. Расчеты средней молекулярной массы и средней степени полимеризации.

Типы вязкостей разбавленного раствора высокомолекулярного соединения. Уравнение Хаггинса. Уравнение Крамера. Уравнение Марка - Куна - Хаувинка - Сакурады. Определение средневязкостной молекулярной массы, среднеквадратичного расстояния между концами цепи и коэффициента набухания макромолекулы методом вискозиметрии.

Полиэлектролиты. Классификация полиэлектролитов. Полиэлектролитное набухание. Изоэлектрическая точка. Интерполимерные реакции. Полиэлектролитные комплексы: синтез, структура.

6. *Поликонденсация.* Ступенчатый механизм роста цепи. Гомополиконденсация, гетерополиконденсация, сополиконденсация; гомофункциональная и гетерофункциональная поликонденсация; линейная, трехмерная и полициклоконденсация; равновесная и неравновесная поликонденсация. Способы проведения поликонденсации.

Условия и уравнения реакций полиэтерификации, полиамидирования, полиимидирования. Реакции синтеза полиуретанов.

Кинетика линейной поликонденсации. Скорость поликонденсации. Степень завершенности поликонденсации, средняя функциональность реакционной системы и среднечисловая степень полимеризации (уравнение Карозерса). Стехиометрия реагентов и среднечисловая степень полимеризации. Монофункциональные примеси и среднечисловая степень полимеризации. Молекулярно-массовое распределение продуктов линейной поликонденсации (уравнение Флори). Расчеты. Особенности трехмерной поликонденсации.

7. *Радикальная полимеризация.* Гомополимеризация и гетерополимеризация. Блочная, эмульсионная, суспензионная полимеризация и полимеризация в растворе. Реакционная способность мономеров и радикалов. Фотохимическое, радиохимическое, фотонное, термическое, химическое инициирование. Уравнения реакций инициирования, роста, передачи и обрыва цепи. Изомеризационная полимеризация. Теломеризация. Ингибирование. Кинетика радикальной полимеризации при малых степенях превращения. Вывод и анализ уравнения скорости радикальной полимеризации. Вывод и анализ уравнения среднечисловой степени полимеризации. Длина кинетической цепи. Расчеты. Гель-эффект. Радикальная сополимеризация. Уравнение состава сополимера. Схема Алфрей - Прайса (Q-e). Расчеты.

8. *Катионная полимеризация.* Мономеры, катализаторы и сокатализаторы катионной полимеризации. Уравнения реакций инициирования, роста, передачи и обрыва цепи. Изомеризационная полимеризация. Кинетика катионной полимеризации. Скорость катионной полимеризации. Вывод и анализ соответствующего уравнения. Среднечисловая степень полимеризации. Вывод и анализ соответствующего уравнения. Расчеты.

9. *Анионная полимеризация.* Мономеры и катализаторы анионной полимеризации. Инициирование по механизму присоединения аниона. Инициирование путем переноса электрона. Инициирование металлорганическими соединениями. Уравнения реакций инициирования, роста, передачи и обрыва цепи. "Живая" анионная полимеризация. Синтез, структура и свойства блоксополимеров. Кинетика анионной полимеризации. Скорость анионной полимеризации и "живой" анионной полимеризации. Вывод и анализ соответствующих уравнений. Среднечисловая молекулярная масса продуктов анионной и "живой" анионной полимеризации. Вывод и анализ соответствующих уравнений. Расчеты.

10. *Анионно-координационная полимеризация.* Синтез цистактических и транстактических высокомолекулярных соединений. Уравнения реакций элементарных стадий процесса.

*Стереоспецифическая полимеризация на катализаторах Циглера - Натта.* Уравнения реакций элементарных стадий процесса.

11. *Химические реакции высокомолекулярных соединений.* Надмолекулярные, конформационные и конфигурационные эффекты. Полимераналогичные превращения целлюлозы, поливинилового спирта, полистирола, полиэтилена, полиизопрена. Уравнения соответствующих реакций. Сшивание макромолекул. Синтез (уравнения соответствующих реакций), структура и свойства сшитых высокомолекулярных соединений. Привитая сополимеризация: свободнорадикальная, по реакциям ионной полимеризации, по реакциям поликонденсации. Уравнения соответствующих реакций. Деструкция макромолекул. Деполимеризация макромолекул. Уравнения соответствующих реакций.

12. *Характеристика (синтез, структура, свойства и применение) важнейших представителей высокомолекулярных соединений.* Гомоцепные высокомолекулярные соединения: полиэтилен (высокого давления и низкого

давления), *it*-полипропилен, *at*-поливинилхлорид, *at*-полистирол, политетрафторэтилен, *at*-полиакрилонитрил, *at*-полиметилметакрилат, *at*-поливиниловый спирт и его производные, *at*-поли-N-винил-2-пирролидон. Сополимеры виниловых мономеров. Полимеры и сополимеры диеновых мономеров: бута-1,3-диена, изопрена, хлоропрена. Фенолоформальдегидные олигомерные и высокомолекулярные соединения. Гетероцепные высокомолекулярные соединения: простые и сложные полиэферы, полиацетали (целлюлоза и ее производные, амилоза), полиамиды, полиимиды, полиуретаны, полисилоксаны.

Терморектупласты и термопласты; термоэластопласты, каучуки и резины; волокна и пленки.

## ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Современные полимерные материалы	Кафедра высокомолекулярных соединений	Предложения отсутствуют	Рекомендовать к утверждению учебную программу (Протокол № 11 от 20.06.2024)

Декан химического факультета БГУ  
кандидат химических наук, доцент

20 июня 2024 г.



А.В.Зураев

# ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ УО

на 2025/2026 учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание
1.	<p>Уточнен перечень весовых коэффициентов, определяющих вклад текущей аттестации в отметку при прохождении промежуточной аттестации</p> <p>Формирование итоговой отметки в ходе проведения контрольных мероприятий текущей аттестации осуществляется путем расчета среднего арифметического значения с соответствующим округлением до целого числа согласно правилам математики между 3 (три) оценками за <i>выполнение лабораторных исследований, ответы на семинарских занятиях, результаты письменных контрольных работ.</i></p>	<p>Сконцентрировать усилия обучающихся на выполнении <i>экспериментальных работ и решении расчетных задач.</i></p>

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры высокомолекулярных соединений (протокол № 1 от 29.08.2025 г.)

Заведующий кафедрой высокомолекулярных соединений  
кандидат химических наук

А.С.Боковец



УТВЕРЖДАЮ

Декан химического факультета  
кандидат химических наук, доцент



А.В.Зураев