

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова  
Факультет наук о материалах

**УТВЕРЖДАЮ**  
Зам. декана ФНМ по учебной  
работе  
\_\_\_\_\_/А.В. Кнотько /  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2016 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Наименование дисциплины:**

**Химия и физика высокомолекулярных соединений**

---

**Уровень высшего образования:**  
*бакалавриат*

---

**Направление подготовки:**  
**04.03.02 Химия, физика и механика материалов**

---

**Направленность (профиль)/специализация ОПОП:**  
**общий**

---

**Форма обучения:**  
**очная**

---

Рабочая программа рассмотрена и одобрена  
Методической комиссией факультета наук о материалах  
(протокол №\_\_\_\_\_, дата)

Москва 2016

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки «Химия, физика и механика материалов» (программы бакалавриата, магистратуры, реализуемых последовательно по схеме интегрированной подготовки) в редакции приказа МГУ от \_\_\_\_\_20\_\_ г.

**1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО: базовая часть, профессиональная подготовка, модуль «Химия материалов», курс предназначен для студентов факультета наук о материалах 2-го года обучения (4-й семестр), курс является обязательным**

---

**2. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия (если есть):**

Общая химия и химия элементов с основами качественного анализа

Органическая химия

Математический анализ

Обыкновенные дифференциальные уравнения

Теория вероятностей и математическая статистика

**3. Результаты обучения по дисциплине:**

*Знать:* основы науки о полимерах и области их практического использования

*Уметь:* анализировать литературный теоретический и экспериментальный материал, решать конкретные задачи по лекционному материалу

*Владеть:* основами физико-химических методов исследования свойств полимеров, современными представлениями о полимерном состоянии вещества как особой форме существования веществ, качественно отличной от низкомолекулярных веществ, о специфических свойствах полимеров, о методах их синтеза, изучения химических и механических свойств, о перспективах развития этой науки и разнообразных областях применения полимеров

*Иметь опыт* анализа, формулировки и решения конкретных химических задач, интересующих фундаментальную науку и практику, проведения химического эксперимента, включающего высокомолекулярное вещество

4. Объем дисциплины составляет 3 з.е. (108 ак.ч.)

5. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий:

5.1. Структура дисциплины по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий (в строгом соответствии с учебным планом)

Вид работы	Семестр				Всего
	4				
<b>Общая трудоёмкость, акад. Часов</b>	108				108
<b>Аудиторная работа:</b>	52				52
Лекции, акад. Часов	16				16
Семинары, акад. Часов	16				16
Лабораторные работы, акад. часов	20				20
<b>Самостоятельная работа, акад. часов</b>	56				56
<b>Вид итогового контроля (зачёт, экзамен)</b>	Экз.				

5.2. Содержание разделов (тем) дисциплины

**ОБЩИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ПОЛИМЕРАХ И ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛАХ**

2 ч. лекции, 2 ч. семинары

Основные понятия и определения. Критерии разграничения высокомолекулярных и низкомолекулярных веществ.

Классификация полимеров по принципам их происхождения, химического состава, строения звеньев и основной цепи. Природные и синтетические полимеры. Органические, элементарноорганические и неорганические полимеры. Линейные, разветвленные и сшитые полимеры. Гомополимеры, сополимеры, блок-сополимеры, привитые сополимеры. Гетероцепные и гомоцепные полимеры.

Значение полимеров как промышленных материалов. Классификация полимерных материалов по принципу целевого назначения. Конструкционные материалы (инженерные и суперинженерные пластики), смеси и сплавы полимеров, композиционные материалы.

Агрегатные, фазовые и физические состояния, в которых существуют полимеры. Важнейшие свойства полимерных веществ, обусловленные большими размерами и цепным строением макромолекул.

Молекулярно-массовые характеристики полимеров.

## МАКРОМОЛЕКУЛЫ И ИХ ПОВЕДЕНИЕ В РАСТВОРАХ

4 ч. лекции, 4 ч. семинары, 5 ч. лабораторные работы

Конфигурационная и конформационная изомерия макромолекул. Внутримолекулярное вращение и гибкость макромолекулы. Среднеквадратичное расстояние между концами цепи и радиус инерции как характеристики, чувствительные к конформационному состоянию макроцепи.

Моделирование поведения цепной макромолекулы. Свободно-сочлененная цепь, цепь с фиксированным валентным углом и цепь с заторможенным внутренним вращением. Энтروпийная упругость макромолекулы.

Поворотные изомеры и гибкость реальных цепей. Количественные характеристики гибкости, понятие о статистическом и кинетическом сегментах. Макромолекулы как кооперативные одномерные системы. Понятие о кооперативных конформационных превращениях.

Макромолекулы в растворах. Термодинамический критерий растворимости и доказательство термодинамической равновесности растворов. Фазовые диаграммы систем полимер-растворитель. Критические температуры растворения. Неограниченное и ограниченное набухание.

Поведение макромолекул в растворе и его особенности по сравнению с поведением молекул низкомолекулярных веществ. Уравнение состояния полимера в растворе. Второй вириальный коэффициент и  $\Theta$ -условия. Понятие о хороших и плохих растворителях.

Невозмущенные размеры макромолекул в растворе и оценка гибкости. Теоретические и методические основы определения усредненных молекулярных масс и размеров макромолекул методами осмометрии, светорассеяния, вискозиметрии, ультрацентрифугирования и гель-проникающей хроматографии.

Ионизирующиеся макромолекулы (полиэлектролиты). Химические и физико-химические особенности поведения полиэлектролитов. Изоэлектрическая и изоионная точки. Кооперативные реакции между противоположно заряженными полиэлектролитами и образование полимер-полимерных комплексов.

## ПОЛИМЕРНЫЕ ТЕЛА

2 ч. лекции, 2 ч. семинары, 5 ч. лабораторные работы

Структура и основные физико-механические свойства полимерных тел. Структура и надмолекулярная организация аморфных полимеров. Кристаллизация полимеров. Структурные критерии кристаллизации. Кинетика и термодинамика кристаллизации. Структура и надмолекулярная организация кристаллических полимеров.

Физические состояния аморфных полимеров. Высокоэластическое состояние. Термодинамика и молекулярный механизм высокоэластичности. Релаксационные явления в полимерах. Принцип температурно-временной суперпозиции. Вязкоупругость и механические модели вязкоупругих тел. Переход в стеклообразное состояние и его релаксационная природа. Вынужденная эластичность полимерных стекол и ее молекулярный механизм. Вязко-текущее состояние. Молекулярный механизм вязкого течения. Аномалия вязкости.

Свойства кристаллических полимеров. Молекулярно-структурный механизм деформации кристаллических полимеров. Структура ориентированных кристаллических и аморфных полимеров и анизотропия их механических свойств. Способы ориентации и принципы формирования ориентированных волокон и пленок из расплавов и растворов.

Разрушение полимеров и его молекулярный механизм. Долговечность полимеров. Композиционные и армированные полимерные материалы. Наполненные полимеры.

## СИНТЕЗ ПОЛИМЕРОВ

4 ч. лекции, 4 ч. семинары, 5 ч. лабораторные работы

Классификация полимеризационных процессов. Цепная и ступенчатая полимеризация.

Термодинамика цепной полимеризации. Полимеризационно-деполимеризационное равновесие.

Радикальная полимеризация. Инициирование, рост, обрыв и передача цепи. Кинетика радикальной полимеризации при малых степенях превращения. Понятие о квазистационарном состоянии.

Особенности радикальной полимеризации при высоких степенях превращения. "Гель-эффект".

Радикальная сополимеризация. Уравнение состава сополимеров. Относительная реакционная способность мономеров. Роль полярных факторов и схема "Q-e" Алфрея-Прайса.

Ионная полимеризация и сополимеризация и их разновидности. Катионная полимеризация. Инициирование, рост и ограничение роста цепей при катионной полимеризации. Анионная полимеризация. Инициирование, рост и ограничение роста цепей при катионной полимеризации. "Живых цепи".

Координационная полимеризация с использованием гомо- и гетерогенных катализаторов. Стереоспецифические эффекты в реакциях координационно-ионной полимеризации. Принципы синтеза стереорегулярных полимеров.

Индустриальные методы проведения полимеризации. Полимеризация в массе, в растворе, в суспензии и в эмульсии.

Ступенчатая полимеризация. Поликонденсация и полиприсоединение. Термодинамика поликонденсации и поликонденсационное равновесие. Кинетика поликонденсации.

Поликонденсация в расплаве, в растворе и на границе раздела фаз.

Синтез и свойства блок- и привитых сополимеров.

## ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ХИМИЧЕСКИЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ ПОЛИМЕРОВ

4 ч. лекции, 4 ч. семинары, 5 ч. лабораторные работы

Химические реакции, не приводящие к изменению степени полимеризации макромолекул: полимераналогичные и внутримолекулярные превращения. Особенности реакционной способности функциональных групп: влияние локального окружения, конфигурации и конформации макромолекул, надмолекулярной структуры, концентрационные и электростатические эффекты.

Макромолекулярные катализаторы химических реакций.

Химические реакции, приводящие к изменению степени полимеризации макромолекул. Цепная и случайная деструкция. Принципы стабилизации полимеров. Сшивание полимерных цепей.

Вулканизация каучуков. Формование полимерных изделий из реакционно-способных олигомеров.

Использование химических реакций макромолекул для химического и структурно-химического модифицирования полимерных материалов.

6. Фонд оценочных средств (ФОС, оценочные и методические материалы) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).

6.1. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости, критерии и шкалы оценивания (в отсутствие утвержденных соответствующих локальных нормативных актов на факультете)

### Образцы

#### 1. контрольных вопросов;

1. Расскажите о специфических свойствах полимеров, которые их резко отличают от низкомолекулярных веществ.
2. Напишите конкретные химические реакции (не менее 3) синтеза полимеров.
3. Молекулярные массы и молекулярно-массовое распределение в полимерах.
4. Расскажите о способах регулирования молекулярной массы полимеров при их синтезе на конкретном примере.

5. Проведите сравнительный анализ реакций радикальной и анионной полимеризации на конкретных примерах.
6. Проведите сравнительный анализ реакций радикальной полимеризации и поликонденсации на конкретных примерах.
7. Расскажите о всех возможных конфигурационных изомерах для макромолекул виниловых полимеров.
8. Расскажите о возможных различных конформационных состояниях макромолекул. Какие факторы определяют конформацию макромолекул и как количественно ее оценить.
9. Дайте краткую характеристику фазовым и физическим состояниям полимеров.
10. Приведите конкретные химические реакции с участием макромолекул ( не менее 5).
11. Химическая модификация полимеров как самостоятельный способ создания полимеров с заданным комплексом химических, физических или механических свойств (приведите 2-3 конкретных примера).
12. Привитые и блок-сополимеры. Реакции синтеза и особенности физико-механических свойств.
13. Релаксационные процессы в полимерах.
14. Долговечность полимерных материалов. Приведите несколько конкретных примеров существенного повышения долговечности полимерных материалов.
15. Явления пластификации полимеров.

## 2. домашних заданий;

1. Составить таблицу основных представителей крупнотоннажных синтетических полимеров (название и химические формулы).
2. Подготовить краткую презентацию по типам надмолекулярных структур кристаллических полимеров и методам их электронно-микроскопического исследования.
3. Составить таблицу «Классификация полимеров».

## 3. образцов тестов;

По теме «Синтез полимеров»

1. Какие из иницирующих систем вызывают радикальную полимеризацию стирола : А. бутиллитий, Б. персульфат аммония, В. гидропероксид изопропилбензола, Г. хлорид олова(IV), Д. трихлоруксусная кислота, Е. диэтилмагний, Ж. триизобутилалюминий - хлорид ванадия, З. нагрев мономера до 80-100 град.Ц.?
2. Для каких значений  $N$  достигается максимальная вероятность циклизации при поликонденсации аминокислот строения  $\text{NH}_2\text{-(CH}_2\text{)-COOH}$ ? А.  $N=6$ , Б.  $N=10$ , В.  $N=1$ , Г.  $N=2$
3. Что служит активным центром полимеризации виниловых мономеров, иницированной системой "катион железа(II) + пероксид водорода"? А. катион; Б. радикал; В. анион; Г. реакция полимеризации не будет протекать.
4. Как изменятся среднечисловая ( $P_N$ ) и средневесовая ( $P_W$ ) степени полимеризации продукта радикальной полимеризации на начальных стадиях превращения, если доля растущих цепей, обрывающихся по механизму диспропорционирования, возрастет с 0 до 100%, а длина кинетических цепей останется постоянной?  
 А.  $P_N$  уменьшится в 2 раза,  $P_W$  уменьшится в 1,5 раза  
 Б.  $P_N$  возрастет в 2 раза,  $P_W$  возрастёт в 3 раза  
 В.  $P_N$  и  $P_W$  уменьшатся в 2 раза  
 Г.  $P_N$  и  $P_W$  возрастут в 2 раза

4. тем для докладов и презентаций;

Способы получения полиэтилена и области его применения.

Способы получения полиэтилентерефталата и области его применения.

Полиакрилонитрил: получение, термическая обработка до углеродного материала и изделия из него.

Способы получения синтетических эластомеров и их свойства.

Синтетические полимеры в машиностроении.

Сравнительные свойства природных (паутина, целлюлоза, кетгут) и синтетических (полипропилен, алифатические и ароматические полиамиды) волокон.

## 6.2. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации по дисциплине (модулю), критерии и шкалы оценивания (в отсутствие утвержденных соответствующих локальных нормативных актов на факультете)

### Общие представления о полимерах

1. Конфигурация и конформация макромолекул. Типы конфигурационных изомеров.
2. Гибкость макромолекул. Природа гибкости. Заторможенность внутреннего вращения.
3. Гибкость макромолекул. Влияние химической структуры полимера на его гибкость.
4. Гибкость макромолекул. Количественные характеристики гибкости (среднеквадратичное расстояние между концами цепи и статистический сегмент). Степень свернутости.
5. Гибкость макромолекул. Основные модели, описывающие поведение гибких макроцепей.
6. Гибкость макромолекул. Энергетические барьеры внутреннего вращения. Понятие о термодинамической и кинетической гибкости.
7. Понятие о сегменте Куна. Экспериментальное определение сегмента Куна.
8. Молекулярно-массовые характеристики полимеров. Полидисперсность синтетических полимеров. Среднечисловая, средневесовая и z-средняя молекулярные массы.
9. Молекулярно-массовые характеристики полимеров и методы их определения.

### Растворы полимеров

1. Разбавленные растворы полимеров. Правило фаз Гиббса. Фазовые диаграммы систем «полимер – растворитель». Критические температуры растворения.
2. Разбавленные растворы полимеров. Закон Рауля. Положительное и отрицательное отклонение от идеального поведения «Хорошие», «плохие» и  $\Theta$ -растворители.
3. Осмометрия разбавленных растворов полимеров. Закон Вант-Гоффа. Положительное и отрицательное отклонение от идеального поведения «Хорошие», «плохие» и  $\Theta$ -растворители.
4. Разбавленные растворы полимеров. Уравнение состояния полимеров в растворе. Второй вириальный коэффициент.  $\Theta$ -температура и  $\Theta$ -условия.
5. Разбавленные растворы полимеров.  $\Theta$ -температура и  $\Theta$ -условия. Невозмущенные размеры макромолекул и метод их оценки.
6. Осмометрия разбавленных растворов полимеров. Уравнение состояния полимеров в растворе. Определение молекулярной массы полимера с использованием метода осмометрии.
7. Вискозиметрия разбавленных растворов полимеров. Закон Ньютона. Вязкость. Аномалия вязкости.
8. Вискозиметрия разбавленных растворов полимеров. Удельная, приведенная и характеристическая вязкости. Связь характеристической вязкости с молекулярной массой полимера и размером макромолекулы. (экспериментальное определение характеристической вязкости)
9. Вискозиметрия разбавленных растворов полимеров. Определение молекулярной массы, невозмущенного размера макромолекул и сегмента Куна методом вискозиметрии.

### Полиэлектролиты

1. Полиэлектролиты. Классификация полиэлектролитов и основные свойства представителей каждого класса.
2. Ионизационное равновесие в водных растворах полиэлектролитов.
3. Термодинамика растворов полиэлектролитов: Равновесие Доннана.
4. Вискозиметрия линейных полиэлектролитов. Концентрационная зависимость приведенной вязкости для бессолевого и солевых растворов полиэлектролитов. Изоионное разбавление.
5. Вискозиметрия водных растворов линейных полиэлектролитов. Полиэлектролитное набухание.
6. Определение молекулярных масс полиэлектролитов методом вискозиметрии.

7. Полиамфолиты. Изоионная и изоэлектрическая точки.
8. Особенности поведения полиэлектролитов со вторичной структурой в водных растворах.

### **Механика полимеров**

1. Термомеханический метод анализа. Три физических состояния аморфных полимеров. Температуры стеклования и текучести и их зависимость от молекулярной массы полимера.
2. Термомеханический метод анализа. Термомеханические кривые для полимер-гомологического ряда. Экспериментальное определение величины сегмента Куна с использованием термомеханического метода.
3. Высокоэластическое состояние аморфных полимеров. Энтропийная природа обратимой высокоэластической деформации.
4. Высокоэластическое состояние аморфных полимеров. Релаксация напряжения. Время релаксации. Зависимость времени релаксации от температуры.
5. Гистерезисные явления при механических испытаниях полимеров. Механические потери и природа их появления. Коэффициент механических потерь.
6. Динамометрический метод исследования полимерных стекол. Механизм вынужденно-эластической деформации.
7. Динамометрический метод исследования полимерных стекол. Предел вынужденной эластичности и его зависимость от температуры.
8. Динамометрический метод исследования полимерных стекол. Хрупкость полимеров. Температура хрупкости и метод ее определения.
9. Полукристаллические полимеры. Термомеханические кривые полукристаллических полимеров.
10. Аморфизованные полимеры. Термомеханические кривые аморфизованных полимеров.

### **Структура полимеров**

1. Кристаллизация полимеров. Условия, необходимые для кристаллизации полимеров.
2. Термодинамика кристаллизации полимеров. Температуры плавления и кристаллизации. Фактор переохлаждения.
3. Кинетика кристаллизации полимеров. Температурные зависимости скоростей зародышеобразования и роста кристаллов.
4. Получение аморфизованных полимеров.
5. Структура и морфологические типы полукристаллических полимеров (ламели и сферолиты). Степень кристалличности.

### **Синтез полимеров**

1. Цепная полимеризация. Термодинамика полимеризации. Полимеризационно-деполимеризационное равновесие.
2. Радикальная полимеризация. Инициирование радикальной полимеризации. Типы инициаторов.
3. Радикальная полимеризация. Основные элементарные стадии радикальной полимеризации.
4. Радикальная полимеризация. Кинетика радикальной полимеризации при малых степенях превращения.
5. Оценка степени полимеризации из кинетических данных.
6. Влияние температуры на скорость радикальной полимеризации и молекулярную массу полимера.
7. Катионная полимеризация. Мономеры и инициаторы.
8. Катионная полимеризация. Основные элементарные стадии катионной полимеризации.
9. Катионная полимеризация. Кинетика катионной полимеризации. Оценка степени полимеризации из кинетических данных.
10. Влияние температуры на скорость катионной полимеризации и молекулярную массу полимера.
11. Анионная полимеризация. Мономеры и инициаторы.
12. Анионная полимеризация. Основные элементарные стадии анионной полимеризации. Кинетика процесса.

13. Анионная полимеризация. Выражение для оценки степени полимеризации. Получение полимеров с узким молекулярно-массовым распределением.
14. Поликонденсация, типы классификации. Основные отличия поликонденсации от цепной полимеризации.
15. Термодинамика поликонденсации. Равновесная и неравновесная поликонденсация. Поликонденсационное равновесие. Зависимость степени полимеризации от константы равновесия.
16. Кинетика неравновесной поликонденсации. Факторы, влияющие на степень полимеризации.

#### **Химические превращения полимеров**

1. Классификация химических реакций с участием макромолекул.
2. Химические превращения полимеров. Полимераналогичные реакции. Отличия от реакций низкомолекулярных аналогов.
3. Особенности полимераналогичных реакций.
4. Эффект «соседа». Кинетика полимераналогичных реакций. Примеры использования полимераналогичных превращений для получения новых полимеров.
5. Химические превращения полимеров. Внутримолекулярные реакции. Примеры использования внутримолекулярных реакций для получения полимеров.
6. Химические превращения полимеров. Сшивание. Вулканизация каучуков.
7. Получение привитых и блок-сополимеров.

#### **7. Ресурсное обеспечение:**

##### **7.1. Перечень основной и дополнительной литературы**

Основная литература:

1. Ю.Д. Семчиков, «Высокомолекулярные соединения», Учебник, М.Изд «Академия». 2006, 386 с.
2. В.Н. Кулезнев, В.А. Шершнев Химия и физика полимеров, Учебник М. КолосС, 2007
3. Практикум по высокомолекулярным соединениям. Под ред. акад. В.А. Кабанова. М: «Химия», 1985.

Дополнительная литература

1. В.В. Киреев. Высокомолекулярные соединения. Учебник. М., изд-во Высшая школа, 1992
2. В.Н. Кулезнев, В.А. Шершнев. Химия и физика полимеров. М: «Высшая школа», 1988.
3. А.А. Тагер. Физико-химия полимеров. М: «Химия», 1978.
4. А.М. Шур. Высокомолекулярные соединения. М: «Высшая школа», 1981.
5. В.Р. Говарикер, Н.В. Висванатхан, Дж. Шридхар. Полимеры. М: «Наука», 1990.

##### **7.2. Перечень лицензионного программного обеспечения, в том числе отечественного производства (подлежит обновлению при необходимости)**

Не требуется

##### **7.3. Описание материально-технического обеспечения.**

аудитория с доской, компьютерный проектор, лабораторные помещения, оборудованные для проведения экспериментов по указанным в п. 5.2 темам

##### **8. Соответствие результатов обучения по данному элементу ОПОП результатам освоения ОПОП указано в Общей характеристике ОПОП.**

##### **9. Разработчик (разработчики) программы.**