

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»
Химический факультет

УТВЕРЖДАЮ

И.о. декана химического факультета,
Чл.-корр. РАН, профессор



/С.Н. Калмыков/

«30» августа 2019 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)
Структура и механические свойства полимеров

Уровень высшего образования:
Магистратура

Направление подготовки (специальность):
04.04.01 Химия

Направленность (профиль) ОПОП:
Высокомолекулярные соединения

Форма обучения:
очная

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
Учебно-методической комиссией факультета
(протокол №3 от 13.05.2019)

Москва 2019

Рабочая программа дисциплины (модуля) разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки 04.04.01 «Химия» (программа магистратуры) в редакции приказа МГУ от 30 августа 2019 г., №1033.

Год (годы) приема на обучение 2019/2020, 2020/2021

1. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП: вариативная часть ООП, блок ПД.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников). Соответствие результатов обучения по данному элементу ОПОП результатам освоения ОПОП (в форме компетенция – индикатор - ЗУВ) указано в Общей характеристике ОПОП.

Компетенция	Индикаторы достижения	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
СПК-1. Способен использовать современные теоретические и экспериментальные методы исследования высокомолекулярных соединений и материалов на их основе	СПК-1.М.1. Предлагает экспериментальные методы для решения задач из области науки о полимерах	Знать: теоретические основы методов исследования структуры полимеров Уметь: предлагать методы исследования структуры полимеров в соответствии с заданной научной задачей
	СПК-1.М.2. Предлагает расчетно-теоретические методы и подходы для решения задач из области науки о полимерах	Владеть: способностью использовать экспериментальные и теоретические методы при исследовании структуры полимеров
СПК-3. Способен использовать теоретические основы физической химии растворов высокомолекулярных соединений, в том числе полиэлектролитов, при решении задач профессиональной деятельности	СПК-3.М.2. Устанавливает корреляции «структура – свойство» в полимерных системах	Знать: взаимосвязь между свойствами растворов полимеров и их механическими свойствами Уметь: прогнозировать механические свойства полимеров с использованием знаний о свойствах их растворов Владеть: способностью использовать структурно-механический подход при исследовании растворов полимеров
СПК-4. Способен использовать современные представления о структуре и физических (в том числе механических) свойствах полимеров.	СПК-4.М.1. Прогнозирует механические свойства полимерных тел на основе знаний об их молекулярной структуре	Уметь: решать задачи по конструированию полимеров с заданными механическими свойствами Уметь: применять на практике знания о структуре полимеров во взаимосвязи с их механическими свойствами Уметь: прогнозировать механические свойства полимера исходя из знаний об их структуре Владеть: способностью применять на практике знания о механических свойствах полимеров во взаимосвязи с их структурой
	СПК-4.М.2. Прогнозирует надмолекулярную структуру полимера на основе знаний об их молекулярной структуре	Знать: основы молекулярной и надмолекулярной структуры полимеров Уметь: прогнозировать надмолекулярную структуру полимера исходя из молекулярной

3. Объем дисциплины (модуля) составляет **3** зачетных единицы, всего **108** часа, из которых **67** часов составляет контактная работа студента с преподавателем (38 часов занятия лекционного типа, 19 часов занятия семинарского типа, 6 часов – индивидуальные консультации, 4 часа – промежуточный контроль успеваемости), **41** час составляет самостоятельная работа студента.

4. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия.

Обучающийся должен

знать: основы науки о полимерах;

уметь: работать с научной литературой и лекционным материалом, анализировать графики функций, проводить элементарные математические преобразования и вычисления;

владеть: методами математической обработки экспериментальных величин, в том числе с использованием математической статистики.

5. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам.

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы						Самостоятельная работа обучающегося, часы		
		из них						из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	Всего
Структура макромолекул	6	4			2		6			
Структура аморфных и кристаллических полимеров	32	16	10		2		28	4		4
Понятие о механических свойствах твердых тел и жидкостей	2	2					2			
Механические свойства полимеров	32	16	9		2		27	5		5
Промежуточная аттестация <u>экзамен</u>	36					4	4			32
Итого	108	38	19		6	4	67	9		41

6. Образовательные технологии:

- применение компьютерных симуляторов, обработка данных на компьютерах, использование компьютерных программ, управляющих приборами;
- использование средств дистанционного сопровождения учебного процесса;
- преподавание дисциплин в форме авторских курсов по программам, составленным на основе результатов исследований научных школ МГУ.

7. Учебно-методические материалы для самостоятельной работы по дисциплине (модулю):

Студентам предоставляется программа курса, план занятий и задания для самостоятельной работы, презентации к лекционным занятиям.

8. Ресурсное обеспечение:

- Перечень основной и вспомогательной учебной литературы ко всему курсу

Со всех компьютеров МГУ организован доступ к полным текстам научных журналов и книг на русском и иностранных языках. Доступ открыт по IP-адресам, логин и пароль не требуются: <http://nbmgu.ru/>

Основная литература

1. Высокомолекулярные соединения (под ред. А.Б. Зезина) Учебник, М.: Юрайт, 2016.
2. Методические пособия по разделам науки о полимерах на сайте кафедры <http://vmsmsu.ru/what.html>

Дополнительная литература

1. Ю. Д. Семчиков. Высокомолекулярные соединения. 5-е изд., стереотип .М. : АКАДЕМИЯ, 2010.
2. В.В.Киреев. Высокомолекулярные соединения. Учебник для бакалавров. М., изд-во "Юрайт", 2013.
3. Гроссберг А.Ю., Хохлов А.Р.. Полимеры и биополимеры с точки зрения физики. М. Интеллект, 2010.
4. Кленин В.И., Федусенко И.В. Высокомолекулярные соединения. Изд.2, испр., 2013.
5. Н.Г. Рамбиди. Структура полимеров - от молекул до наноансамблей. М., Интеллект, 2009.
6. В.Н.Кулезнёв, В.А.Шершнёв Химия и физика полимеров, Учебник М. КолосС, 2007
7. В.А. Каргин, Г.Л. Слонимский Краткие очерки по физико-химии полимеров. М. «Химия», 1967
8. А. Тобольский Структура и свойства полимеров М. «Химия», 1964
9. Г.М. Бартенев, Ю.В. Зеленев Физика и механика полимеров. М. «Высшая школа», 1983
10. А.А. Аскадский, А.Р. Хохлов Введение в физико-химию полимеров М. «Научный мир», 2009
11. Дж. Мэнсон, Л. Сперлинг Полимерные смеси и композиты. М. «Химия», 1979.
12. С. Л. Баженов, А.А. Берлин, А.А. Кульнов, В.Г. Ошмян Полимерные композиционные материалы Прочность и технология Долгопрудный. «Интеллект», 2010

13. И. Уорд Механические свойства твердых полимеров М. «Химия», 1975
14. И. Нарисава Прочность полимерных материалов М. «Химия», 1987
15. The Physics of Glassy Polymers / Ed. by Haward R.N., Young R.J/ London. « Chapman and Hall», 1997
16. А.А. Берлин Современные полимерные композиционные материалы Соросовский образовательный журнал 1, 1995 г., стр. 57
17. I.M. Ward, J. Sweeney An Introduction to the Mechanical Properties of Solid Polymers England. «John Wiley», 2004
18. Энциклопедия полимеров, М.Изд. БСЭ, т.т.1-3 1977
19. Химическая энциклопедия, Изд. БРЭ, т.т. 1-5, 1988-1998
20. Научно-популярные статьи на сайте кафедры <http://welcome.vmsmsu.ru/papers.html>

- Материально-техническое обеспечение: специальных требований нет, занятия проводятся в обычной аудитории, оснащенной доской и мелом (маркерами)

9. Язык преподавания – русский

10. Преподаватели: к.х.н. с.н.с. Аржакова О.В., к.х.н. с.н.с. Большакова А.В., с.н.с. к.х.н. Трофимчук Е.С.

Фонды оценочных средств, необходимые для оценки результатов обучения

Образцы оценочных средств для текущего контроля усвоения материала и промежуточной аттестации - экзамена. На экзамене проверяется достижение промежуточных индикаторов компетенций, перечисленных в п.2.

Теоретические контрольные вопросы и практические контрольные задания

Структура полимеров

1. Что такое "структура" полимеров? В чем состоит различие между понятиями конформация и конфигурация полимера? Дать примеры.
2. Оцените плотность заполнения макромолекулярного клубка сегментами полимерной цепи.
3. Понятие гибкости полимерной цепи. Механизмы гибкости. Дать примеры.
4. Идеальная полимерная цепь. Размер клубка.
5. Сегмент Куна. Гибкие и жесткие цепи. Гауссово распределение длин векторов между концами цепей для идеальной цепи. Дать примеры.
6. Аморфные полимеры. Темнопольная электронная микроскопия в применении для исследования структуры аморфных полимеров.
7. Надмолекулярные структуры в полимерах. Основные типы. Дать примеры.
8. Общие представления о структуре ориентированных аморфно-кристаллических полимеров. Дать примеры.
9. Жидкокристаллические полимеры. Специфика строения и свойств.

10. Обоснуйте образование складчатой конформации макромолекул в кристалле в рамках основных положений кинетической теории кристаллизации полимеров.
11. Обоснуйте соотношение для скорости кристаллизации расплава полимера на основании теории абсолютных скоростей реакций. Обоснуйте существование температурной зависимости скорости кристаллизации расплава полимера.
12. Выведите соотношение для продольных и поперечных размеров l^*_g и a^* критического зародыша кристаллизации для механизма вторичного зародышеобразования, и соответствующее соотношение для величины энергетического барьера его образования ΔF^* .
13. Выведите соотношение для продольных и поперечных размеров l^*_g и a^* критического зародыша кристаллизации для механизма первичного зародышеобразования, и соответствующее соотношение для величины энергетического барьера его образования ΔF^* .
14. Сравните размеры кристаллов полиэтилена и полипропилена, закристаллизованные при одинаковом переохлаждении $\Delta T = 10^\circ\text{C}$.
15. Сравните размеры кристаллов полиэтилена и полипропилена, закристаллизованные при одинаковой температуре $T = 120^\circ\text{C}$.
16. Опишите известные вам методы экспериментального определения степени кристалличности полимера. Дать примеры.
17. Выведите соотношение для температуры плавления полимерного кристалла с продольным (в направлении макромолекулярной цепи) размером L .
18. Сравните температуры плавления кристаллов полиэтилена с высотой складки 10 и 50 нм.
19. Как можно экспериментально определить равновесную температуру плавления полимера?

Механические свойства полимеров

1. Типы упругих деформаций твердых тел. Коэффициент Пуассона.
2. Термодинамика высокоэластической деформации. Тепловые эффекты при растяжении и сокращении идеального каучука.
3. Упругость идеальной каучуковой сетки. Зависимость модуля упругости от температуры и молекулярной массы отрезка цепи между узлами сетки.
4. Релаксация напряжения и ползучесть. Модели Максвелла и Кельвина. Многоэлементные модели описывающие механическое поведение линейных и сшитых аморфных полимеров
5. Для модели, в которой последовательно соединены пружина, элемент Фойгта-Кельвина и демпфер, построить зависимость напряжения от времени при постоянной деформации и деформации от времени при постоянной нагрузке
6. Динамические механические свойства полимеров. Модуль накопления и модуль потерь. Механические потери. Зависимость модуля накопления и модуля потерь для аморфного полимера от температуры
7. Принцип температурно-временной суперпозиции и вспомогательная кривая. Физический смысл фактора сдвига. Уравнение Вильямса-Ланделла-Ферри.
8. Особенности течения линейных аморфных полимеров. Вязкоупругие свойства расплавов полимеров. Зависимость вязкости полимеров от молекулярной массы
9. Построить температурные зависимости логарифмов модуля накопления и модуля потерь для аморфного и частично кристаллического полиэтилентерефталата (степень кристалличности 35%) в широкой области температур (от 0 до 300°C).
10. Зависимость температуры стеклования, температуры хрупкости, температуры текучести аморфного полимера от его молекулярной массы

11. Модуль объемного сжатия полистирола составляет $2 \cdot 10^{10}$ дин/см². Оценить модуль сдвига и модуль Юнга для этого полимера.
12. Эластомер с $M_c = 4000$ подчиняется кинетической теории высокоэластичности. Рассчитать напряжение в образце эластомера, растянутом при комнатной температуре на 150 %. (плотность полимера равна 0.9 г/см³)
13. Построить кривые «напряжение-деформация» при температуре 20°C для трех образцов сшитого полиизопрена, для которых молекулярные массы между узлами сетки составляют 5000, 10000 и 15000.
14. Вязкость полимера при 0° С равна 10^3 Па с. Чему равна вязкость при 25° С, если предположить, что при T_c она равна 10^{12} Па с и что температурная зависимость вязкости подчиняется закону ВЛФ ?
15. Температура стеклования ПММА равна 110° С. Во сколько раз скорость релаксации напряжения полимера при 155° С больше, чем при 125° С?
16. Каучук наполнен жесткими сферическими частицами (объемная доля наполнителя 0.3). Модуль упругости каучука при комнатной температуре 1 МПа, наполнителя 10^4 МПа. Ниже T_c модуль упругости полимера составляет $4 \cdot 10^4$ МПа, коэффициент Пуассона 0.35. Чему равно отношение модуля упругости композиции к модулю упругости ненаполненного полимера выше и ниже T_c ?
17. Распределение времен релаксации $H(\ln \tau)$ постоянно в интервале нескольких десятичных порядков Какова форма кривой релаксации напряжений в этом интервале времени?

Вопросы к экзамену

Структура полимеров

1. Гибкость и конформация макромолекул. Равновесные конформации
2. Феноменологическая теория кристаллизации полимеров. Основные соотношения, недостатки теории
3. Кинетическая теория кристаллизации полимеров
4. Надмолекулярные структуры в полимерах
5. Современные представления о структуре аморфных полимеров
6. Жидкокристаллические полимеры. Особенности строения и свойств. Классификация

Механические свойства полимеров

7. Термодинамика высокоэластической деформации. Тепловые эффекты при растяжении и сокращении идеального каучука.
8. Упругие свойства: зависимость модуля упругости от температуры и молекулярной массы отрезка цепи между узлами сетки. Определение и измерение вязкоупругих характеристик полимеров. Ползучесть и релаксация напряжений. Динамические механические свойства. Температурная зависимость вязкоупругих характеристик аморфных полимеров.
9. Особенности течения расплавов полимеров.
10. Механические свойства стеклообразных полимеров. Вынужденная эластичность. Образование шейки при растяжении стеклообразных полимеров.
11. Методы повышения ударной прочности стеклообразных полимеров. Ударопрочные пластики

12. Механические свойства частично-кристаллических полимеров.

Методические материалы для проведения процедур оценивания результатов обучения

Шкала оценивания знаний, умений и навыков является единой для всех дисциплин (приведена в таблице ниже)

ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)				
Оценка \ Результат	2	3	4	5
Знания	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
Умения	Отсутствие умений	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности непринципального характера)	Успешное и систематическое умение
Навыки (владения)	Отсутствие навыков	Наличие отдельных навыков	В целом, сформированные навыки, но не в активной форме	Сформированные навыки, применяемые при решении задач

РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)	ФОРМА ОЦЕНИВАНИЯ
Знать: теоретические основы методов исследования структуры полимеров Знать: взаимосвязь между свойствами растворов полимеров и их механическими свойствами Знать: основы молекулярной и надмолекулярной структуры полимеров	мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на экзамене
Уметь: прогнозировать механические свойства полимеров с использованием знаний о свойствах их растворов Уметь: решать задачи по конструированию полимеров с заданными механическими свойствами Уметь: применять на практике знания о структуре полимеров во взаимосвязи с их механическими свойствами Уметь: прогнозировать механические свойства полимера исходя из знаний об их структуре Уметь: предлагать методы исследования структуры полимеров в соответствии с заданной научной задачей Уметь: прогнозировать надмолекулярную структуру полимера исходя из молекулярной	мероприятия текущего контроля успеваемости, контрольные вопросы, устный опрос на экзамене

<p>Владеть: способностью использовать структурно-механический подход при исследовании растворов полимеров</p> <p>Владеть: способностью использовать экспериментальные и теоретические методы при исследовании структуры полимеров</p> <p>Владеть: способностью применять на практике знания о механических свойствах полимеров во взаимосвязи с их структурой</p>	<p>мероприятия текущего контроля успеваемости, практические контрольные задачи, устный опрос на экзамене</p>
---	--