

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

УТВЕРЖДАЮ

Декан химического факультета,
Акад. РАН, профессор



С.Н.Калмыков/

«30» августа 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Механика полимеров

Polymer mechanics

Уровень высшего образования:

Программа подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре
Высокомолекулярные соединения (104-01-00-147-хн)

Москва 2022

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с Требованиями к основным программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре, самостоятельно устанавливаемыми Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова (приказ № 1216 от 24 ноября 2021 г.).

1. Краткая аннотация:

Название дисциплины – Механика полимеров (Polymer mechanics).

Цель изучения дисциплины – дать обучающимся углубленные знания в области механики полимерных систем.

2. Уровень высшего образования – подготовка кадров высшей квалификации..

3. Научная специальность: 1.4.7 Высокомолекулярные соединения, область науки: 1. Естественные науки.

4. Место дисциплины (модуля) в структуре Программы аспирантуры: Обязательные Дисциплины (модули) – Обязательная дисциплина по выбору.

5. Объем дисциплины (модуля) составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часа, из которых 38 часов составляет контактная работа аспиранта с преподавателем (36 часов занятия лекционного типа. 2 часа – промежуточный контроль успеваемости), 34 часа составляет самостоятельная работа обучающегося.

6. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия: должна быть освоена дисциплина Специальность (Высокомолекулярные соединения).

7. 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 (во взаимодействии с преподавателем), часы, из них			самостоятельная работа аспиранта, часы, из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия, направленные на проведение промежуточной аттестации	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка к коллоквиумам	Всего
Тема 1. Понятие о механических свойствах твердых тел и жидкостей. Основные понятия (деформация, механическое напряжение, прочность, разрушение). Виды однородных упругих деформаций твердых тел. Упругие свойства твердых тел при малых деформациях. Вязкость жидкостей. Закон Ньютона. Вязкоупругость. Пластичность и пластическая деформация. Принципиальные отличия деформационных свойств полимеров от свойств низкомолекулярных твердых тел. Методы определения основных механических характеристик полимеров.	6	4		4	2		2
Тема 2. Высокоэластическая деформация. Особенности высокоэластической деформации, сравнение упругой и высокоэластической деформаций. Термодинамика равновесной высокоэластической деформации полимерных сеток. Кинетическая теория эластичности каучука. Уравнения деформации полимерной сетки.	6	4		4	2		2
Тема 3. Релаксационные свойства полимеров. Вязкоупругие свойства полимеров. Линейная вязкоупругость, принцип Больцмана. Элементы теории линейной вязкоупругости. Понятие спектра времен релаксации. Многоэлементные модели.	6	4		4	2		2

<p>Тема 4. Динамические механические свойства. Динамические (усталостные) механические свойства. Модуль накопления и модуль потерь. Обработка экспериментальных данных при изучении свободных и вынужденных колебаний. Нахождение составляющих комплексного динамического модуля с помощью обобщенной модели Максвелла. Комплексная динамическая податливость в обобщенной модели Фойгта. Явление механического гистерезиса. Теплообразование и механические потери. Тангенс угла механических потерь – физический смысл и методы определения.</p>	6	4		4	2		2
<p>Тема 5. Свойства полимеров в вязкотекучем состоянии. Вязкотекучее состояние. Критерии текучести материала. Особенности поведения полимерных жидкостей (сочетание вязких и упругих свойств). Механизм вязкого течения линейных аморфных полимеров (рептации). Молекулярная теория динамического поведения полимерных жидкостей (теория рептаций). Типы кривых течения полимерных жидкостей. Аномалия вязкости. Индекс течения и показатель текучести расплава. Методы исследования вязкостных свойств полимеров.</p>	5	3		3	2		2
<p>Тема 6. Механические свойства стеклообразных полимеров. Закономерности стеклования и особенности строения полимерных стекол. Релаксационные переходы в аморфных полимерах ниже температуры стеклования и их связь с молекулярной структурой. Явление вынужденной эластичности. Температурная и скоростная зависимость предела вынужденной эластичности (предела текучести). Деформационное (ориентационное) упрочнение. Условия образования и стабилизации шейки. Влияние химического строения, молекулярной массы, пластификации на температуру стеклования и температуру хрупкости полимеров. Особенности механического поведения жесткоцепных и полужесткоцепных полимеров ниже температуры стеклования. Стойкость полимерных стекол к ударным нагрузкам.</p>	6	4		4	2		2
<p>Тема 7. Механические свойства частично-кристаллических полимеров.</p>	6	4		4	2		2

Релаксационные переходы в кристаллических полимерах. Структурные перестройки при деформировании частично-кристаллических полимеров (переход ламелярной структуры в фибриллярную). Влияние степени кристалличности и на механические свойства кристаллических полимеров. Температура хрупкости частично-кристаллических полимеров.							
Тема 8. Строение и механические свойства ориентированных полимеров. Строение и механические свойства ориентированных частично-кристаллических полимеров. Продольный модуль упругости кристаллитов в направлении оси макромолекулы. Модуль упругости и строение аморфных областей частично-кристаллического полимера. Принципы получения высокопрочных и высокомодульных волокон на основе жесткоцепных и гибкоцепных полимеров.	5	3		3	2		2
Тема 9. Разрушение полимеров. Механизмы разрушения полимеров. Хрупкое и пластическое разрушение. Теоретические оценки прочности материалов. Причины различия между теоретической и реальной прочностью материалов. Разрушение твердых тел с дефектом в виде трещины. Типичные значения вязкости разрушения термореактивных и термопластичных полимеров. Зависимость процесса разрушения от времени. Долговечность полимеров. Образование микротрещин при длительном действии нагрузки, локализованных в аморфных областях частично-кристаллического полимера. Термофлуктуационный механизм разрушения полимеров.	5	3		3	2		2
Тема 10. Полимерные композиционные материалы. Механические свойства дисперсно наполненных полимеров. Эластомеры усиленные неорганическим наполнителем. Механические свойства стеклообразных и частично-кристаллических полимеров, наполненных жесткими неорганическими частицами. Армированные пластики на основе высокопрочных волокон и полимерного связующего. Применение полимеров в качестве армирующих волокон. Роль полимерного связующего в формировании	5	3		3	2		2

механических свойств композиционных материалов. Связующие на основе терморезистивных и термопластичных полимеров.							
Промежуточная аттестация - зачёт	16		2	2		14	14
Итого	72	36	2	38	20	14	34

8. Образовательные технологии: преподавание ведется в форме авторских курсов, составленных с учетом научно-исследовательского опыта и научных разработок сотрудников химического факультета МГУ.

9. Учебно-методические материалы для самостоятельной работы по дисциплине (модулю): презентации лекций, конспекты лекций, основная и дополнительная учебная литература.

10. Ресурсное обеспечение:

Основная литература:

1. В.А. Каргин, Г.Л. Слонимский Краткие очерки по физико-химии полимеров. М. «Химия», 1967
2. А. Тобольский Структура и свойства полимеров М. «Химия», 1964
3. Г.М. Бартенев, Ю.В. Зеленов Физика и механика полимеров. М. «Высшая школа», 1983
4. А.А. Аскадский, А.Р. Хохлов Введение в физико-химию полимеров М. «Научный мир», 2009
5. Дж. Мэнсон, Л. Сперлинг Полимерные смеси и композиты. М. «Химия», 1979.
6. С. Л. Баженов, А.А. Берлин, А.А. Кульнов, В.Г. Ошмян Полимерные композиционные материалы Прочность и технология Долгопрудный. «Интеллект», 2010

Дополнительная литература:

1. И. Уорд Механические свойства твердых полимеров М. «Химия», 1975
2. И. Нарисава Прочность полимерных материалов М. «Химия», 1987
3. The Physics of Glassy Polymers / Ed. by Haward R.N., Young R.J/ London. «Chapmanand Hall», 1997
4. А.А. Берлин Современные полимерные композиционные материалы Соросовский образовательный журнал 1, 1995 г., стр. 57
5. I.M. Ward, J. Sweeney An Introduction to the Mechanical Properties of Solid Polymers England. «John Wiley», 2004
6. Гросберг А.Ю., Хохлов А.Р. «Полимеры и биополимеры с точки зрения физики», Долгопрудный. Издат. дом «Интеллект», 2010

Интернет-ресурсы:

- Практикум по высокомолекулярным соединениям - www.vmsmsu.ru

Описание материально-технической базы:

- занятия проводятся в обычной аудитории с возможностью подключения техники для демонстрации презентаций.

11. Язык преподавания – русский

12. Преподаватели:

к.х.н. Трофимчук Елена Сергеевна (МГУ имени М.В.Ломоносова, Химический факультет, кафедра высокомолекулярных соединений) elena_trofimchuk@mail.ru

**Фонды оценочных средств,
необходимые для оценки результатов обучения**

**Примеры
контрольных вопросов и практических контрольных заданий к зачету**

Список контрольных вопросов:

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. Динамические механические свойства полимеров. Модуль накопления и модуль потерь. Механические потери. Зависимость модуля накопления и модуля потерь для аморфного полимера от температуры
6. Принцип температурно-временной суперпозиции и вспомогательная кривая. Физический смысл фактора сдвига. Уравнение Вильямса-Ланделла-Ферри..
7. Особенности течения линейных аморфных полимеров. Вязкоупругие свойства расплавов полимеров. Зависимость вязкости полимеров от молекулярной массы
8. Зависимость температуры стеклования, температуры хрупкости, температуры текучести аморфного полимера от его молекулярной массы

Примеры практических контрольных заданий (ПКЗ):

1. Модуль объемного сжатия полистирола составляет $2 \cdot 10^{10}$ дин/см². Оценить модуль сдвига и модуль Юнга для этого полимера.
2. 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)
3. 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.
4. Вязкость полимера при 0°C равна 10^3 Па с. Чему равна вязкость при 25°C, если предположить, что при T_c она равна 10^{12} Па с и что температурная зависимость вязкости подчиняется закону ВЛФ?
5. Температура стеклования ПММА равна 110°C. Во сколько раз скорость релаксации напряжения полимера при 155°C больше, чем при 125°C ?
6. 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 ?
7. Распределение времен релаксации $H(\ln \tau)$ постоянно в интервале нескольких десятичных порядков. Какова форма кривой релаксации напряжений в этом интервале времени?

**Методические материалы
для проведения процедур оценивания результатов обучения**

Зачет проходит по билетам, включающем 2 вопроса. Уровень знаний аспиранта оценивается по каждому вопросу на «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно». В случае если на все вопросы был дан ответ, оцененный не ниже, чем «удовлетворительно», аспирант получает общую оценку «зачтено».

ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)				
Оценка Результат	Незачёт (2)	Зачёт (3)	Зачёт (4)	Зачёт (5)
Знания	Отсутствие базовых знаний	Общие, но неглубокие знания, содержащие пробелы	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 непринципиального характера)	Успешное и систематическое умение
Навыки (владения)	Отсутствие навыков	Наличие навыков, не всегда верно используемых	В целом, сформированные навыки, но не в активной форме	Сформированные навыки, применяемые при решении поставленных задач