

АНОТАЦІЯ

Назва дисципліни / освітнього компонента	РЕЛАКСАЦІЙНІ ЯВИЩА В ПОЛІМЕРАХ
Освітня програма	ФІЗИКА ТА АСТРОНОМІЯ
Компонент освітньої програми	Вибірковий
Загальна кількість кредитів та кількість годин для вивчення дисципліни	3 кредити / 90 годин
Вид підсумкового контролю	Залік
Мова викладання	Українська
Викладач	Сідлецький Валентин Олександрович, кандидат фізико-математичних наук, доцент
CV викладача на сайті кафедри	https://kfamv.rshu.edu.ua/home/kolektyv-kafedry?view=article&id=23:sidletskyi-valentyn-oleksandrovych&catid=11
E-mail викладача	valentyn.sidletskyi@rshu.edu.ua
Консультації	Вівторок: 12.45 – 14.00 Аудиторія 206, Пластова 31

Мета і завдання навчальної дисципліни

Дисципліна *"Релаксаційні явища в полімерах"* є фундаментальним складником підготовки магістрів, що забезпечує глибоке розуміння динамічних процесів, які визначають фізико-механічні властивості, структуру та експлуатаційний ресурс полімерних матеріалів. Зміст курсу базується на застосуванні законів класичної механіки, термодинаміки, статистичної фізики та молекулярної кінетики до систем з великим числом ступенів вільності. Предметом вивчення є молекулярна рухливість, механізми перебудови надмолекулярних структур, процеси встановлення статистичної рівноваги під дією зовнішніх полів, а також температурно-часова залежність відгуку полімерних систем. Метою дисципліни є формування у здобувачів освіти наукового світогляду та навичок прогнозування поведінки високомолекулярних сполук у широкому діапазоні зовнішніх впливів.

Програма курсу охоплює теоретичні основи вивчення в'язкопружних характеристик полімерів, таких як модулі пружності, тангенс кута механічних та діелектричних втрат, а також методи їх визначення на основі динамічного механічного аналізу та спектроскопії. Детально розглядаються механізми альфа-, бета- та гамма-релаксації, процеси склування, особливості сегментальної та ланцюгової рухливості, а також релаксаційні переходи у кристалічних і наповнених полімерних системах. Окремий розділ присвячений феноменологічним моделям релаксації (моделі Максвелла, Кельвіна-Фойгта) та принципу температурно-часової еквівалентності. Магістранти опановують методи фізичної інтерпретації експериментальних даних, отриманих за допомогою механічної, електричної та магнітної релаксометрії.

Вивчення релаксаційних явищ дозволяє майбутнім науковцям оволодіти сучасними методами математичного моделювання фізичних процесів у макромолекулярних системах та обробки результатів складних фізико-хімічних вимірювань. Отримані компетенції є необхідними для проведення самостійних досліджень у галузі фізики конденсованого стану, розробки нових функціональних матеріалів з заданими властивостями та участі у високих

технологічних проєктах. Дисципліна демонструє зв'язок між мікроскопічною динамікою ланцюгів та макроскопічними властивостями речовини, підкреслюючи роль релаксаційного аналізу як потужного інструменту дослідження структури полімерів.

Тематика лекційних занять (16 годин)

Лекція 1. Природа релаксаційних явищ у полімерах. Поняття про статистичну рівновагу та час релаксації. Особливості макромолекул як систем із великою кількістю ступенів вільності. Класифікація релаксаційних процесів: молекулярна, структурна та механічна релаксація.

Лекція 2. Феноменологічні моделі в'язкопружної поведінки. Моделі Максвелла та Кельвіна-Фойгта. Узагальнена модель Зінера. Рівняння стану в'язкопружного тіла. Спектри часів релаксації та запізнювання.

Лекція 3. Температурно-часова залежність релаксаційних процесів. Принцип температурно-часової еквівалентності (ТЧЕ). Рівняння Вільямса-Ландела-Феррі (ВЛФ) та Арреніуса-Френкеля-Ейрінга. Коефіцієнт зсуву та енергія активації релаксаційних переходів.

Лекція 4. Процес склування як релаксаційне явище. Фізична природа температури склування (T_g). Термодинамічний та кінетичний підходи. Вільний об'єм та його роль у релаксації. Вплив швидкості охолодження та тиску на процес склування.

Лекція 5. Динамічна механічна релаксація. Поведінка полімерів у полі періодичних напружень. Комплексний динамічний модуль. Механічні втрати та тангенс кута втрат ($tg\delta$). Релаксаційні переходи (α , β , γ , δ) та їх зв'язок з рухливістю ланок і сегментів.

Лекція 6. Діелектрична релаксація в полімерах. Орієнтаційна поляризація макромолекул у змінному електричному полі. Рівняння Дебая та Коул-Коул. Зв'язок між механічними та діелектричними релаксаційними спектрами. Вплив полярності груп на час релаксації.

Лекція 7. Релаксація в гетерогенних та наповнених полімерних системах. Особливості релаксації у кристалічних областях полімерів.

Релаксаційні явища на межі поділу фаз у композитах. Вплив наповнювачів та пластифікаторів на спектр часів релаксації.

Лекція 8. Ядерна магнітна релаксація (ЯМР) у полімерах. Вивчення молекулярної динаміки методами ЯМР-релаксометрії. Часи спін-граткової (T_1) та спін-спінової (T_2) релаксації. Аналіз конформаційної рухливості ланцюгів.

Тематика практичних занять (14 годин)

Практичне заняття 1. Розрахунок параметрів в'язкопружних моделей. Побудова кривих повзучості та релаксації напружень за заданими параметрами моделей Максвелла та Кельвіна. Визначення в'язкості та модуля пружності.

Практичне заняття 2. Аналіз температурних залежностей часу релаксації. Розрахунок енергії активації релаксаційного процесу за експериментальними даними. Робота з графіками у координатах Арреніуса.

Практичне заняття 3. Застосування принципу ТЧЕ для побудови узагальнених кривих. Масштабування експериментальних даних, отриманих за різних температур. Визначення констант рівняння Вільямса-Ландела-Феррі.

Практичне заняття 4. Обробка даних динамічного механічного аналізу (ДМА). Визначення положення релаксаційних переходів за температурними та частотними залежностями модуля втрат і тангенса кута втрат.

Практичне заняття 5. Розрахунок вільного об'єму полімеру. Оцінка частки вільного об'єму при температурі склування та аналіз його впливу на сегментальну рухливість.

Практичне заняття 6. Інтерпретація діелектричних спектрів. Побудова діаграм Коул-Коул для різних типів полімерів (полярні/неполярні). Розрахунок параметрів розподілу часів релаксації.

Практичне заняття 7. Прогнозування довговічності полімерних матеріалів. Використання релаксаційних характеристик для оцінки стабільності властивостей полімерів при тривалих експлуатаційних навантаженнях.