

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
Фізичний факультет
Кафедра прикладної фізики

**ЗАТВЕРДЖУЮ**
Декан фізичного факультету
Лазур В.Ю.
«02» березня 2023 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
РЕЛАКСАЦІЙНІ ЯВИЩА В КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛАХ
ТА ЇХ МОДЕЛЮВАННЯ

Освітній рівень:	Другий (магістерський)
Галузь знань:	10 Природничі науки
Спеціальність:	105 Прикладна фізика та наноматеріали
Освітня програма:	Прикладна фізика та наноматеріали
Статус дисципліни:	Обов'язкова
Мова навчання	Українська

Робоча програма навчальної дисципліни “Релаксаційні явища в конструкційних матеріалах та їх моделювання” для здобувачів вищої освіти галузі знань **10 природничі науки спеціальності 105 Прикладна фізика та наноматеріали Освітньо – професійна програма**

Розробник: Біланич В.С., доцент, кандидат фізико-математичних наук

Робочу програму розглянуто та затверджено на засіданні кафедри прикладної фізики ДВНЗ «Ужгородський національний університет»

Протокол № 8 від «23» лютого 2023 р.

Завідувач кафедри прикладної фізики  Небола І.І.

Схвалено науково-методичною комісією фізичного факультету

Протокол № 7 від «02» березня 2023 р.

Голова науково-методичної комісії  (Карбованець М.І.)

1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Найменування показників	Розподіл годин за навчальним планом	
	денна форма навчання	заочна форма навчання
Кількість кредитів - 4,5	Рік підготовки	
Загальна кількість годин – 135	1- й	
Кількість модулів – 2	Семестр	
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 2 самостійної роботи студентів – 4	2- й	
	Лекції	
	28 год.	
	Практичні (семінарські)	
	-	
Вид підсумкового контролю: екзамен	Лабораторні	
	24 год.	
Форма підсумкового контролю: ус-на	Самостійна робота	
	83 год	

Примітка.

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної індивідуальної роботи становить:

для денної форми навчання – 52 / 83 (0.63)

для заочної форми навчання – відсутня

2. МЕТА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Метою вивчення навчальної дисципліни «Релаксаційні явища в конструкційних матеріалах та їх моделювання» є фундаментальна теоретична і практична підготовка студентів у області релаксаційної спектроскопії; формування у студентів цілісної системи знань та навичок досліджень релаксаційних явищ у твердих тілах, конструкційних матеріалах; засвоєння методик проведення фізичного експерименту, фізичних досліджень та аналізу релаксаційних явищ, також методик розрахунку релаксаційних параметрів досліджених матеріалів; моделювання процесів релаксації конструкційних.

Відповідно до освітньої програми, вивчення дисципліни сприяє формуванню у здобувачів вищої освіти таких компетентностей:

- інтегральна компетентність

здатність самостійно ставити та розв'язувати на інноваційному рівні наукові та науково-технічні задачі в галузі прикладної фізики та наноматеріалів.

- загальні компетенції (ЗК):

- здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.(ЗК1);
- знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності (ЗК2);
- здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово (ЗК3);
- здатність спілкуватися іноземною мовою (ЗК4);
- здатність до проведення досліджень на відповідному рівні (ЗК6);
- здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел (ЗК7);
- здатність працювати в команді (ЗК8);
- навички міжособистісної взаємодії (ЗК9);
- здатність працювати автономно (ЗК10);
- здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями (ЗК11);
- навички здійснення безпечної діяльності (ЗК12).

- фахові компетенції (ФК):

- здатність виконувати аналіз спеціальної літератури, формулювати постановку наукової або науково-технічної задачі, обирати методи та методики, складати програми наукових досліджень та науково-технічних розробок у галузі прикладної фізики та наноматеріалів(ФК1);

- здатність оптимально визначити матеріальні засоби, необхідні для проведення наукового дослідження або науково-технічної розробки (матеріали, апаратура, обладнання, обчислювальна техніка та інше) (ФК2);

- здатність аналізувати отримані результати, презентувати їх фахівцям у даній галузі, оформлювати наукові статті та науково-технічні звіти (ФК3);

- здатність відповідно до поставленої задачі виконувати науково-технічні розробки в галузі прикладної фізики та наноматеріалів (ФК4);

- здатність самостійно опановувати нову апаратуру та технології, в тому числі із суміжних галузей, для розв'язання виробничих задач (ФК5);

- здатність брати участь у виготовленні експериментальних зразків, інших об'єктів дослідження (ФК6);

- здатність брати участь у впровадженні результатів досліджень та розробок (ФК7);

- здатність використовувати методи і засоби теоретичного дослідження та математичного моделювання в професійній діяльності. (ФК10);

3. ПЕРЕДУМОВИ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Не потребує.

4. ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ

Відповідно до освітньої програми вивчення навчальної дисципліни «Релаксаційні явища в конструкційних матеріалах та їх моделювання» повинно забезпечити досягнення здобувачами вищої освіти таких програмних результатів навчання (ПРН):

Програмні результати навчання	Шифр ПРН
Знаходити та аналізувати наукову та науково-технічну інформацію в галузі прикладної фізики та наноматеріалів із вітчизняних та зарубіжних джерел, в тому числі з використанням сучасних пошукових систем	ПРН02
Класифікувати, аналізувати та інтерпретувати науково-технічну інформацію в галузі прикладної фізики	ПРН03
Встановлювати та аргументувати нові залежності між параметрами та характеристиками фізичних систем.	ПРН05
Застосовувати сучасні математичні методи для побудови й аналізу математичних моделей фізичних процесів	ПРН08
Застосовувати ефективні технології, інструменти та методи експериментального дослідження властивостей речовин і матеріалів, включаючи наноматеріали, при розв'язанні практичних проблем прикладної фізики.	ПРН09

Очікувані результати навчання, які повинні бути досягнуті здобувачами освіти після опанування навчальної дисципліни «Релаксаційні явища в конструкційних матеріалах та їх моделювання»:

Очікувані результати навчання з дисципліни	Шифр ПРН
знати основну термінологію в області теорії релаксаційних явищ та механічної спектроскопії твердого тіла;	ПРН02
знати основні закономірності прояву релаксаційних явищ у твердих тілах;	ПРН02
знати класифікацію релаксаційних переходів та основні їх механізми;	ПРН03
знати методи досліджень релаксаційних явищ у конструкційних матеріалах;	ПРН02
знати методи моделювання релаксаційних явищ у конструкційних матеріалах.	ПРН03
вміти аналізувати температурні і частотні залежності релакс дисипативних саційних параметрів матеріалів;	ПРН05
вміти аналітично та графічно визначати параметри релаксації із експериментальних результатів;	ПРН08
вміти розраховувати релаксаційні параметри на основі отриманих температурно-частотних і часових залежностей дисипативних параметрів твердого тіла	ПРН08
вміти проводити апроксимацію та екстраполяцію експериментальних результатів досліджень релаксаційних явищ.	ПРН09
вміти проводити дослідження різних типів релаксаційних процесів використовуючи прилади техніку релаксаційної спектроскопії.	ПРН09

5. ЗАСОБИ ДІАГНОСТИКИ ТА КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ

Засоби оцінювання та методи демонстрування результатів навчання

Засобами оцінювання та методами демонстрування результатів навчання з навчальної дисципліни є:

поточний контроль успішності,

проміжний модульний контроль,
підсумковий семестровий контроль.

Форми контролю та критерії оцінювання результатів навчання

Форми поточного контролю:

- вибіркове усне опитування перед початком занять;
- фронтальне усне та/або письмове опитування за основними питаннями теми заняття;
- експрес-опитування;
- реферативні повідомлення та їх обговорення;
- перевірка якості виконання завдань для самостійної роботи;
- оцінювання якості та повноти виконання завдань модульної контрольної роботи.

Форма модульного контролю: виконання модульної контрольної роботи, результати якої оцінюються за 100-бальною шкалою за кожний модуль.

Форма підсумкового семестрового контролю: екзамен. До екзамену допускаються студенти, які відпрацювали пропущені заняття і виконали модульні контрольні роботи.

Оцінювання знань студентів здійснюється на основі результатів:

- поточного контролю знань;
- проміжного модульного контролю знань ;
- підсумкового семестрового контролю знань – екзамен.

Розподіл балів, які отримують здобувачі вищої освіти (модуль 1)

Поточне оцінювання та самостійна робота				Модульна контрольна робота	Сума
T1	T2	T3	T4	40	100
15	15	15	15		

T... T4 – теми.

Розподіл балів, які отримують здобувачі вищої освіти (модуль 2)

Поточне оцінювання та самостійна робота				Модульна контрольна робота	Сума
T1	T2	T3	T4	40	100
15	15	15	15		

T... T4 – теми.

Оцінювання окремих видів навчальної роботи з дисципліни

Вид діяльності здобувача вищої освіти	Модуль 1		Модуль 2	
	Кількість	Максимальна кількість балів (сумарна)	Кількість	Максимальна кількість балів (сумарна)
Практичні (семінарські) заняття	-	-	-	-
Лабораторні заняття (до-	3	45	3	45

пуск, виконання та захист)				
Комп'ютерне тестування при тематичному оцінюванні	-	-	-	-
Реферативна доповідь	1	15	1	15
Модульна контрольна робота	1	40	1	40
Разом	4	100	4	100

Критерії оцінювання модульної контрольної роботи

Модульна контрольна робота здійснюється у письмовій формі шляхом відповідей на питання тестових завдань. Кожна правильна відповідь оцінюється певною кількістю балів. Максимальна кількість балів за кожний модуль становить 100 балів. Мінімальна кількість балів, за якої робота вважається виконаною, становить 60 балів.

Критерії оцінювання підсумкового семестрового контролю

Підсумковий семестровий контроль з дисципліни «Релаксаційні явища в конструкційних матеріалах та їх моделювання» здійснюється через екзамен. Екзамен проводиться в усній формі шляхом співбесіди. Результати екзамену оцінюються так: «відмінно», «добре», «задовільно», «незадовільно».

Оцінка „відмінно” виставляється в тому разі, коли студент бездоганно оволодів всіма розділами програми, дав глибокі, чіткі і вичерпні відповіді на всі основні і додаткові запитання, виявив розуміння суті програмового матеріалу, вільне володіння фактичним матеріалом та відповідним математичним апаратом, кваліфіковано використовувати набуті знання для розв’язання конкретних практичних задач.

Оцінка „добре” виставляється тоді, коли студент виявив повне знання і розуміння програмового матеріалу, добре оволодів програмовим матеріалом курсу, може використовувати набуті знання в практичній діяльності, дав вичерпні відповіді на всі запитання, але під час відповіді допускав окремі нечіткі формулювання і незначні неточності.

Оцінка „задовільно” виставляється в тому разі, коли студент в основному знає і розуміє фактичний матеріал курсу, дав в основному правильні відповіді на запитання, виявив уміння розібратися в окремих питаннях матеріалу дисципліни, вміння використовувати відповідний математичний апарат, але не може ґрунтовно пояснити окремі положення пройденого курсу, недостатньо вміє застосовувати набуті знання для розв’язання конкретних практичних задач.

Оцінка „незадовільно” виставляється тоді, коли студент не оволодів матеріалом даного курсу, виявив суттєві прогалини в знаннях основного програмового матеріалу, коли він під час відповіді на запитання виявив нерозуміння сутності основних понять та термінів дисципліни, допускає плутанину, не може застосовувати набуті знання для розв’язування конкретних практичних задач, тобто виявив відсутність мінімально необхідної кількості знань з даного курсу.

За бажанням студента результуюча підсумкова оцінка може бути визначена як інтегрована оцінка засвоєння всіх тем дисципліни і кількісно дорівнює середньому арифметичному балів, отриманих за кожний модуль.

Переведення результатів, отриманих за 100-бальною шкалою оцінювання в національну 4-х бальну та шкалу за системою ECTS здійснюється за наступною схемою:

Оцінка за шкалою балів	ECTS	
	Оцінка	Характеристика
90 та вище	A	відмінно
80-89 65-79	B	добре
	C	добре
55-64 50-54	D	задовільно
	E	задовільно
35-49	FX	незадовільно з можливістю перескладання
1-34	F	незадовільно з обов'язковим повторним навчанням

Студент, який отримав за результатами підсумкового контролю оцінку «незадовільно» (1-34 балів, F), зобов'язаний пройти повторний курс вивчення дисципліни (під час додаткового семестру) і скласти екзамен.

Результати підсумкового контролю знань із навчальних дисциплін, з яких передбачено екзамен, заносяться до екзаменаційної відомості.

6. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

6.1. Зміст навчальної дисципліни

Модуль 1. Релаксаційні явища у твердих тілах.

Тема 1. Закономірності прояву релаксаційних явищ у твердих тілах.

Вступ. Загальні відомості про релаксаційні явища. Поняття про релаксаційні явища у твердих тілах. Закономірності прояву релаксаційних явищ. Час релаксації. Особливості прояву релаксаційних процесів у твердих тілах при гармонічних зовнішніх впливах..

Тема 2. Механічна релаксація. Феноменологічна теорія. Модель стандартного лінійного тіла.

Механічна релаксація в твердих тілах. Феноменологічна теорія. Модель стандартного лінійного тіла. Релаксація деформації твердого тіла. Складові частини деформації та механізми їх виникнення. Релаксація механічної напруги у твердому тілі. Закон релаксації механічної напруги. Механічна модель стандартного лінійного тіла. Поглинання енергії зовнішнього поля одиничним релаксатором. Внутрішнє тертя у твердих тілах. Динамічний і статичний модулі зсуву.

Тема 3. Теплова, діелектрична, магнітна релаксація. Параметри релаксаційних процесів.

Дослідження матеріалів методами диференціального термічного аналізу, диференціальної скануючої калориметрії. Прояв релаксаційних ефектів на кривих ДСК. Діелектрична релаксація у твердих тілах. Дослідження діелектричної релаксації в кристалах і стеклах. Залежності $\epsilon(T)$ і $\tan\delta(T)$ в області діелектричної релаксації при різних частотах. Визначення релаксаційних параметрів, довжин іонних стрибків. Релаксаційні явища у феромагнітних матеріалах.

Тема 4. Амплітудо- та частотно-залежні ефекти при релаксаційних процесах.

Залежність релаксаційних ефектів від амплітуди і частоти зовнішнього поля. Модель руху кінетичної частинки в періодичному потенціальному рельєфі. Ідентифікація релаксатора по параметрам релаксаційного процесу.

Модуль 2. Дослідження процесів релаксації у конструкційних матеріалах та їх опис з допомогою математичних моделей.

Тема 1. Динамічні і статичні методи досліджень релаксаційних процесів та їх практична реалізація.

Релаксація деформації твердого тіла. Складові частини деформації та механізми їх виникнення. Релаксація механічної напруги у твердому тілі. Закон релаксації механічної напруги. Механічна модель стандартного лінійного тіла. Особливості прояву релаксаційних процесів у твердих тілах при гармонічних зовнішніх впливах. Поглинання енергії зовнішнього поля одиничним релаксатором. Дослідження релаксаційних явищ у твердих тілах методом наноіндентування. Режими роботи наноіндентометра G200.

Тема 2. Використання методів динамічного механічного аналізу для дослідження процесів релаксації у конструкційних матеріалах. Моделювання максимумів дисипативних процесів у рамках моделі одиничного релаксатора.

Практична реалізація досліджень релаксаційних явищ у твердих тілах. Режим вимушених коливань. Практична реалізація досліджень релаксаційних явищ у твердих тілах. Режим вільних коливань. Визначення енергії активації релаксаційного процесу та її фізичний зміст. Визначення частотного фактора релаксаційного процесу та його фізичний зміст. Внутрішнє тертя у твердих тілах. Динамічний і статичний модулі зсуву. Методи динамічного механічного аналізу, їх класифікація та використання при дослідженні релаксаційних процесів у твердих тілах. Методика обробки результатів вимірювань. Моделювання максимумів внутрішнього тертя в рамках моделі одиничного релаксатора. Фізичний зміст параметрів моделі.

Тема 3. Модель руху частинки в періодичному потенціальному рельєфі. Модель Дебая.

Опис руху кінетичної частинки - релаксатора в періодичному потенціальному рельєфі. Основні математичні співвідношення. Модель Дебая. Неперервний і дискретний релаксаційний спектр. Розподіл часів релаксації. Визначення релаксаційних параметрів із експериментальних результатів досліджень температурно-частотних залежностей дисипативних параметрів матеріалів. Механізми релаксаційних явищ у конструкційних матеріалах. Приклади. Концентраційна залежність параметрів релаксаційних процесів у халькогенідних стеклах.

Тема 4. Використання методів диференціальної скануючої калориметрії для дослідження релаксаційних процесів при ендо- та екзопроцесах.

Фізичні основи та практична реалізація методів диференціальної скануючої калориметрії (ДСК) та калориметрії з гармонічно модульованим тепловим потоком (МДСК). Механізми ендо- та екзотермічних процесів у твердих тілах. Методика застосування та навички роботи з програмою "TA Instruments. Universal Analysis". Обробка файлів даних ДСК, МДСК вимірювань при дослідженні теплових ефектів халькогенідних стеклов в інтервалах температур розм'якшення та кристалізації. Аналіз теплових ефектів на експериментальних кривих ДСК, МДСК. Реверсивний та неревверсивний теплові потоки при МДСК вимірюваннях. Обчислення параметрів теплової релаксації із результатів ДСК, МДСК вимірювань.

6.2. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин - 135					
	Форма навчання: денна					
	у тому числі					
	Усього 135	Лекції 28	практичні (семінарські)	Лабораторні 12	індивідуальна робота	самостійна робота 83
1-й семестр						
Модуль 1						
Тема 1. Закономірності прояву релаксаційних явищ у твердих тілах.	13	3				10
Тема 2. Механічна релаксація. Феноменологічна теорія. Модель стандартного лінійного тіла.	17	3		4		10
Тема 3. Теплова, діелектрична, магнітна релаксація. Параметри релаксаційних процесів.	18	4		4		10
Тема 4. Амплітудо- та частотно-залежні ефекти при релаксаційних процесах.	17	2		4		11
Модульна контрольна робота	2	2				
Разом за модуль	67	14		12		41
Модуль 2						
Тема 1. Динамічні і статичні методи досліджень релаксаційних процесів та їх практична реалізація.	17	3		4		10
Тема 2. Використання методів динамічного механічного аналізу для дослідження процесів релаксації у конструкційних матеріалах. Моделювання максимумів дисипативних процесів у рамках моделі одиничного релаксатора.	17	3		4		10
Тема 3. Модель руху частинки в періодичному потенціальному рельєфі. Модель Дебая.	18	4		4		10
Тема 4. Використання методів диференціальної скануючої калориметрії для дослідження релаксаційних процесів при ендо- та екзопроцесах.	14	2				12
Модульна контрольна робота	2	2				
Разом за модуль	68	14		12		42
Всього	135	28		24		83

6.3. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		денна	заочна
1.	Дослідження процесів механічної релаксації методом внутрішнього тертя.	4	
2.	Розрахунок енергії активації та граничного часу релаксації термоактиваційних процесів аналітичним та графічним способами.	4	

3.	Дослідження діелектричної релаксації та амплітудозалежних ефектів внутрішнього тертя в іонних кристалах.	4	
4.	Дослідження процесів релаксації у конструкційних матеріалах та їх опис з допомогою математичних моделей.	4	
5.	Дослідження релаксації твердих тіл у статичному режимі навантажень.	4	
6.	Використання програми “TA Instruments. Universal Analysis” для аналізу експериментальних результатів дослідження ендотермічних ефектів у області склування халькогенідних стекол методом модульованої диференціальної скануючої калориметрії.	4	
Разом		24	-

6.4. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		денна	заочна
1.	Діелектрична релаксація в іонних кристалах.	4	
2.	Методика дослідження діелектричних властивостей некристалічних матеріалів.	4	
3.	Релаксаційні процеси в діелектриках з недебаївськими спектрами	4	
4.	Релаксація питомої провідності і питомих діелектричних втрат.	4	
5.	Модель релаксації в глибокій потенціальній ямі з двома положеннями рівноваги, релаксатор Фреліха.	5	
6.	Діелектрики з дебаївськими спектрами релаксації.	5	
7.	Діелектрична релаксація в слабких електричних полях	5	
8.	Статична релаксація некристалічних матеріалів: амплітудо залежні ефекти	5	
9.	Квазінезалежність дисипативних структур та її прояв на температурних залежностях дисипативних параметрів.	5	
10.	Підготовка до модульної контрольної роботи.	5	
11.	Методика і техніка експерименту при дослідженні частотнозалежних ефектів при релаксації	5	
12.	Еквівалентні механічні моделі релаксаційних явищ у твердих тілах.	5	
13.	Методика обчислення іонних стрибків із діелектричних вимірювань.	5	
14.	Часові зміни механічних параметрів при релаксації внутрішніх напруг.	5	
15.	Часові зміни механічних параметрів при релаксації деформації.	4	
16.	Використання різних підінтегральних функцій при апроксимації релаксаційних максимумів у некристалічних матеріалах.	4	
17.	Побудова діаграм Коула-Коула та визначення параметрів релаксації.	4	
18.	Підготовка до модульної контрольної роботи	5	
Разом		83	

7. ІНСТРУМЕНТИ, ОБЛАДНАННЯ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, ВИКОРИСТАННЯ ЯКИХ ПЕРЕДБАЧАЄ НАВЧАЛЬНА ДИСЦИПЛІНА

Технічні засоби: Мультимедійний проєктор.

Обладнання: персональні комп'ютери, ноутбуки.

Програмне забезпечення Windows 10, Microsoft Power Point.

Лабораторні стенди, установка для вимірювання температурних і частотних залежностей внутрішнього тертя, мікротвердомір, лазери, фотодіоди, аморфні плівки, іонні кристали. Програми Origin, NanoScope Analysis, TA Universal Analysis.

8. РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

Основна література

1. Тхір І. Г., Гуменецький Т. В. Фізико-хімія полімерів. Навчальний посібник. Львів.: Видавництво львівської політехніки, 2005, 240 с.
2. В.С. Біланич, К.В.Скубенич, М. Краньчеч, І.П. Студеняк. Механічні властивості суперіонних кристалів, стекол і композитів. Розділ 4 в монографії: Copper and Silver Containing Superionic Conductors: Preparation, Structure and Physical Properties: monograph / Ed. by Ihor Studenyak and Vladimir Lisý. – Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2020. – P. 187-240.
3. Дослідження релаксаційних процесів у халькогенідних скловидних напівпровідниках методом внутрішнього тертя В.С. Біланич. //Науковий вісник Ужгородського університету. Серія Фізика. Випуск 26. – 2009, с.10-17.
4. Sushanta Dattagupta. Relaxation Phenomena in Condensed Matter Physics, Publisher: Sarat Book House, 2014, 310 p.
5. Біланич В.С." β – релаксація в халькогенідах миш'яку."//Науковий вісник УжНУ, серія "Фізика", №7, 2000, с.140-145.
6. Колупаев Б.С. Релаксаційні та термічні властивості наповнених полімерних систем. Практикум./ Б.С. Колупаев. – Львів: Вища школа, 1980. – 204 с.
7. Булавін Л.А. Фізична механіка полімерів: Навч. посіб. з курсу «Основи молекуляр. фізики» для студ. фіз. ф-ту. Ч. 1. Деформація полімерних континуумів / Л.А. Булавін, Ю.Ф. Забашта. – К.: ВПЦ «Київ. ун-т», 1999. – 226 с.
8. Орешкін П.Т. Фізика напівпровідників і діелектриків. П. Т. Орешкин. Физика полупроводников и диэлектриков. М.: Высшая школа. 1977. 448 с.

Допоміжна література

1. K.Tanaka. Structural phase transitions in chalcogenide glasses. //Phys.Rev.B 39,1270 (1989).
2. Sushanta Dattagupta and Sanjay Pur. Dissipative Phenomena in Condensed Matter: Some Applications (Springer Series in Materials Science), 20 Feb. 2004.
3. Sushanta Dattagupta. Diffusion: Formalism and Applications. 15 Nov. 2013.
4. B. Spagnolo,. Relaxation phenomena in classical and quantum systems. // Acta physica Polonica B, Vol. 43 (2012), 1169- 1189.
5. Dattagupta, S., & Kirkpatrick, T. (1989). Relaxation Phenomena in Condensed Matter Physics. Academic, San Diego, Calif., 1987. 309pp.
6. Magalas, Leszek B.; Golovin, S.A.; Darinskii, B.M.. Mechanical Spectroscopy, Internal Friction and Relaxation Phenomena in Solids – Suggested Reading. Solid State Phenomena, 115, (2006), 15–24.
7. Д.М. Фреїк, Л.І. Никируй, О.І. Ільків, О.М. Возняк. Метод часу релаксації та варіаційний підхід у аналізі явищ переносу у напівпровідниках AIVBVI.// Фізика і хімія твердого тіла Т. 8, № 3 (2007) С. 451-456
8. Булавін Л.А. Фізика полімерів: Навч. посіб. / Л.А. Булавін, Ю.Ф. Забашта, О.С. Свечнікова. – К.: ВПЦ «Київ. ун-т», 2004. – 129 с