

Київський Національний університет  
імені Тараса Шевченка

Затверджено  
Вченою радою фізичного факультету  
"\_\_\_" \_\_\_\_\_ 200\_\_ р.  
Протокол №\_\_\_  
Голова вченої ради, декан

Проф. Макарець М.В.

Фізичний факультет  
Кафедра молекулярної фізики

Кандидат фізико-математичних наук  
асистент Сенчуров Сергій Павлович

Викладачі, що ведуть лабораторні заняття:  
асистент Сенчуров Сергій Павлович

## **ВСТУП ДО ФІЗИКИ ТВЕРДОГО ТІЛА**

### **РОБОЧА НАВЧАЛЬНА ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ**

для студентів 3 курсу фізичного факультету групи спеціалізації  
“Молекулярна фізика”  
спеціальності 6.070100

Затверджено  
кафедрою молекулярної фізики  
"\_\_\_" \_\_\_\_\_ 200\_\_ р.  
Протокол №

Завідувач кафедри

Проф. Булавін Л.А.

КИЇВ-2009

**Контроль знань.**

Контроль здійснюється за модульно-рейтинговою системою. Оцінювання за формами контролю<sup>1</sup>:

**Поточний –**

- |   |           |
|---|-----------|
| - Виконання домашніх завдань -            | 20 балів; |
| - Участь у колоквіумах -                  | 10 балів; |
| - Контрольна робота на семінарі -         |           |
| - Виконання та здача практичних завдань - | 20 балів. |
| - Підсумкова контрольна робота -          |           |

**Підсумковий контроль (залік, іспит) 40 балів.**

---

<sup>1</sup> Форми та порядок оцінювання знань студентів пропонує самостійно викладач (лектор, керівник курсу).

## Вступ

Дисципліна "Вступ до фізики твердого тіла" для студентів фізичного факультету є вибірковою дисципліною з циклу дисциплін вільного вибору студента для спеціальності "фізика" у V та VI семестрах. Він складається з чотирьох змістовних модулів (ЗМ1-ЗМ4). Передбачає 87 годин аудиторних занять, з них 70 годин лекцій, 17 годин практичних занять і 16 годин самостійної роботи.

### **V семестр**

лекцій - 36 год.,  
самостійна робота - 7 год.,  
та форма підсумкового контролю - залік.

### **VI семестр**

лекцій - 34 год.,  
практичних занять - 17 год.,  
самостійна робота - 9 год.,  
та форма підсумкового контролю - іспит.

**Метою і завданням навчальної дисципліни** "Вступ до фізики твердого тіла" є отримання глибоких та систематичних знань про властивості твердого тіла на макроскопічному рівні та їх зв'язок з мікроскопічною структурою твердого тіла (з точки зору молекулярної фізики).

**Предмет навчальної дисципліни** "Вступ до фізики твердого тіла" - це такі макроскопічні властивості твердого тіла, як пружність, пластичність, міцність, повзучість, внутрішнє тертя, теплоємність, теплопровідність та їх зв'язок з мікроскопічною будовою твердого тіла, симетрією кристалу, тощо.

**Вимоги до знань та вмінь.**

#### **Студент повинен знати:**

1. Макроскопічні механічні властивості твердого тіла, методи їх вимірювання (дослідження).
2. Макроскопічні теплові властивості твердого тіла, методи їх вимірювання (дослідження).
3. Пояснення макроскопічних властивостей виходячи з уявлень про атомно-молекулярну структуру твердого тіла.
4. Методи вивчення мікроскопічної структури твердого тіла.
5. Методи розрахунку макроскопічних властивостей твердого тіла виходячи з мікроскопічної будови.
6. Яку інформацію про мікроскопічну молекулярну будову можуть дати методи вивчення макроскопічних механічних і теплових властивостей твердого тіла.
7. Мікроскопічні колективні явища в твердому тілі.
8. Фізичні моделі твердого тіла на макро- та мікрорівнях.

#### **Студент повинен вміти:**

1. Логічно і послідовно пояснювати зв'язок макроскопічних механічних і теплових властивостей твердого тіла з мікроскопічною будовою.
2. Розв'язувати відповідні задачі.
3. Планувати та виконувати вимірювання основних макроскопічних теплових та механічних характеристик твердого тіла.
4. Вимірювати та інтерпретувати результати вимірювання мікроскопічних характеристик твердого тіла.
5. Самостійно працювати з літературою.

**Місце в структурно-логічній схемі спеціальності.** Нормативна навчальна дисципліна "Вступ до фізики твердого тіла" є складовою циклу професійної підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня "бакалавр". Знання з фізики твердого тіла тією чи іншою мірою використовуються практично у будь-якій сфері діяльності людини. В молекулярній фізиці особливо важливе місце займають методи вивчення механічних та теплових властивостей твердого тіла, оскільки вони є експериментально відносно простими і при цьому інформативними. Макроскопічні властивості визначаються мікроскопічною будовою твердого тіла, тому обов'язковим є також знання зв'язку макроскопічних та мікроскопічних властивостей твердого тіла.

**Система контролю знань та умови складання іспиту.** Навчальна дисципліна "Механічні і теплові властивості твердого тіла" оцінюється за **модульно-рейтинговою системою**. Вона складається з **4 модулів**. Результати навчальної діяльності студентів оцінюються за **100 – бальною шкалою** в кожному семестрі.

**Форми поточного контролю:** оцінювання результатів виконання самостійних завдань; практичних завдань та додаткової роботи студентів. При виставленні балів за модульний контроль враховуються:

- знання та розуміння матеріалу відповідної теми при виконанні практичних завдань;
- уміння та навички розв'язування задач за кожною темою;
- якість самостійної роботи студента при виконанні завдань для самостійної роботи.

#### **I змістовний модуль (ЗМ1).**

У межах першого змістовного модуля розглядається мікроскопічна будова твердого тіла, способи отримання інформації про неї, мікроскопічна симетрія твердого тіла та її зв'язок з макроскопічними властивостями твердого тіла.

#### **II змістовний модуль (ЗМ2).**

У межах другого змістовного модуля розглядаються механічні властивості твердого тіла, такі, як пружність, пластичність, повзучість, структурна релаксація, внутрішнє тертя, міцність та довговічність.

### III змістовний модуль (ЗМ3).

У межах третього змістовного модуля розглядаються теплові властивості діелектриків, такі, як теплоємність, теплопровідність, теплове розширення.

### IV змістовний модуль (ЗМ4).

У межах четвертого змістовного модуля розглядаються теплові властивості провідників, зокрема, теплопровідність та теплоємність.

Наприкінці першого та третього змістовних модулів проводиться контроль знань у вигляді **колоквіумів**, максимальна кількість балів за кожен з яких складає **10 балів**.

Виконання практичних завдань протягом ЗМ1-ЗМ4 оцінюється в **10 балів** за кожний модуль. Виконання домашніх завдань протягом ЗМ1-ЗМ4 оцінюється в **10 балів** за кожний модуль.

Виконання лабораторних робіт протягом ЗМ3 та ЗМ4 оцінюється в **5 балів** та **5 балів**.

Виконання лабораторних, практичних та домашніх завдань є умовою допуску до іспиту.

Виконання додаткових завдань оцінюється максимально в **20 балів** за кожний семестр.

**Підсумковий модульний контроль знань** студента проводиться у формі заліку у **V семестрі** та іспиту у **VI семестрі**, під час яких може бути отримана максимальна кількість балів – по **40 балів**.

Білет на залік та іспит складається з трьох завдань – одного практичного та двох теоретичних. Перше теоретичне завдання використовується для перевірки засвоєння студентом знань ЗМ1, друге – ЗМ2 – залік, ЗМ3 та ЗМ4 – іспит. Оцінки за відповіді на теоретичні завдання по 10 балів, за практичне завдання – 20 балів.

#### Приклад білету:

1. Точкові та просторові операції симетрії
2. Рух дислокацій. Одновимірна модель.
3. За результатами рентгенівського дифракційного дослідження методом Дебая-Шерера вказати тип кристалічної решітки та розрахувати міжплощинні відстані.

**Підсумкова семестрова рейтингова** оцінка складається з семестрових модульних оцінок, оцінки за колоквіум та оцінки, отриманої на **заліку** чи **іспиті**, і дорівнює **100 балам**.

Підсумкова оцінка з дисципліни у балах 100-бальної шкали переводиться у **чотирибальну** (національну шкалу):

За 100-бальною шкалою	Оцінка за національною шкалою	
90 - 100	5	відмінно

75 - 89	4	добре
60 - 74	3	задовільно
35 - 59	2	незадовільно
1 - 34		

*При цьому, кількість балів відповідає оцінці:*

*1-34 - «незадовільно» з обов'язковим повторним вивченням дисципліни;*

*35-59 - «незадовільно» з можливістю повторного складання;*

*60-64 - «задовільно»;*

*75 - 89 - «добре»;*

*90 - 100 - «відмінно».*

**ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ЛЕКЦІЙ І СЕМІНАРСЬКИХ ЗАНЯТЬ**

**V семестр**

№ лекції	Назва лекції	Кількість годин			
		лекції	семінари/ лаборант., практичні	самоств. робота	інші форми контр.
<b>Змістовний модуль 1</b>					
1	Тверде тіло та його властивості.	2			
2	Макроскопічні прояви симетрії кристалів.	2		1	
3	Кристалічна решітка та її симетрія.	2			
4	Операції симетрії.	2			
5	Кристалографічні системи координат.	2			
6	Основні типи кристалічних структур.	2			
7	Експериментальні методи вивчення кристалічної структури.	2			
8	Розрахунок амплітуди дифрагованої рентгенівської хвилі.	2		1	
9	Експериментальні методи рентгеноструктурного аналізу.	2		1	
Оцінка за самостійну роботу Колоквіум					
<b>Змістовний модуль 2</b>					
10	Зв'язки у кристалах.	2		1	
11	Пружні властивості твердого тіла.	2			
12	Дефекти кристалічної структури.	2			
13	Експериментальні методи вивчення дефектів кристалічної структури.	2		1	
14	Теорія механічної релаксації. Внутрішнє тертя. Повзучість.	2		1	
15	Полімери. Отримання полімерів, структура та механічні властивості полімерів.	2			
16	Міцність кристалів. Теорія Гріффітса.	2			
17	Міцність кристалів. Кінетичний підхід.	2			
18	Експериментальні методи вивчення механічних властивостей твердого тіла.	2		1	
Оцінка за самостійну роботу					
<b>ВСЬОГО</b>		36		7	

Загальний обсяг 43 год., у тому числі:

лекції – 36 год.

самостійна робота – 7 год.



**ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ЛЕКЦІЙ І СЕМІНАРСЬКИХ ЗАНЯТЬ**

**VI семестр**

№ лекції	Назва лекції	Кількість годин			
		лекції	семінари/ лаборант., практичні	самоств. робота	інші форми контр.
<b>Змістовний модуль 3</b>					
1	Загальний гамільтоніан кристала. Адіабатичне наближення.	2		1	
2	Коливання простої одновимірної решітки. Нормальні координати.	2	2		
3	Коливання складної одновимірної решітки. Акустичні та оптичні коливання.	2		1	
4	Коливання атомів тривимірної решітки. Квантово-механічна теорія коливань. Фонони.	2	2		
5	Теплоємність кристалів. Класичний підхід, теорії Ейнштейна та Дебая.	2	2		
6	Континуальна теорія довгохвильових оптичних коливань. Поляритони.	2		1	
7	Ангармонізм і теплове розширення.	2	2		
8	Ангармонізм і фононна теплопровідність.	2		1	
9	Експериментальні методи вивчення теплоємності, теплопровідності, теплового розширення твердого тіла.	2	2		
Оцінка за самостійну роботу Колоквіум					
<b>Змістовний модуль 4</b>					
10	Зонна теорія електронних станів у кристалах.	2		1	
11	Рівноважна статистика електронів у кристалах.	2	2		
12	Статистика носіїв заряду у напівпровідниках. Електронна теплоємність.	2	2		
13	Кінетичні явища в кристалах. Класична теорія електропровідності та теплопровідності.	2		1	
14	Електрон-фононна взаємодія.	2	2		
15	Розрахунок електропровідності та електронної теплопровідності металів.	2		1	
16	Явища переносу в кристалах. Дифузія.	2	1	1	
17	Властивості кристалів при низьких температурах.	2		1	
Оцінка за самостійну роботу					
<b>ВСЬОГО</b>		34	17	9	

Загальний обсяг 60 год., у тому числі:  
 лекції – 34 год.  
 семінари/лабораторні, практичні – 17 год.  
 самостійна робота – 9 год.

# ТЕМАТИЧНО - ЗМІСТОВНА ЧАСТИНА КУРСУ

## V семестр

### Змістовний модуль 1

#### МІКРОСКОПІЧНА БУДОВА ТВЕРДОГО ТІЛА

##### **Лекція 1. Тверде тіло та його властивості.**

Поняття твердого тіла. Моделі твердого тіла. Умови існування твердого тіла. Агрегатні і фазові стани. Теплові і механічні макроскопічні властивості твердого тіла, їх зв'язок з мікроскопічними властивостями. Термодинамічні потенціали.

##### **Лекція 2. Макроскопічні прояви симетрії кристалів.**

Симетрія властивостей кристалів. Однорідність, ізоτροпія, анізотропія. Огранка кристалів. Закон раціональних чисел. Мікроструктура кристалічних речовин. Структури з мінімальною вільною енергією. Решіточна гіпотеза та її доведення. Принцип щільного пакування.

##### **Лекція 3. Кристалічна решітка та її симетрія.**

Просторова решітка. Базис і періодичність кристалічної решітки. Трансляційні решітки. Решітки NaCl, CsCl. Основні поняття теорії груп. Системи координат в тривимірному просторі. Коваріантні та контраваріантні координати та базиси

##### **Лекція 4. Операції симетрії.**

Опис симетрії кристалічних решіток. Точкові та просторові операції симетрії. Взаємодія операцій симетрії.

##### **Лекція 5. Кристалографічні системи координат.**

Кристалографічні системи координат. Індеси вузла, напрямку та площини. Системи та сімейства площин. Прямий та обернений базиси. Обернена решітка. Симетрія макроскопічних об'єктів. Координат площин, напрямків, вузлів. Розрахунок параметрів оберненої решітки

##### **Лекція 6. Основні типи кристалічних структур.**

Решітки Браве. Кристалічні категорії, системи та сингонії. Зв'язок симетрії та макроскопічних властивостей твердих тіл. Енантіоморфізм.

##### **Лекція 7. Експериментальні методи вивчення кристалічної структури.**

Електромагнітні хвилі, які застосовують для вивчення кристалічної структури. Дифракція нейтронів та електронів. Підходи Лауе та Вульфа-Брега до дифракції рентгенівських променів. Сфера Евальда. Експериментальні методи рентгеноструктурного аналізу. **Практика розрахунку взаємодії основних елементів симетрії. Умови дифракції та обернена решітка.**

##### **Лекція 8. Розрахунок амплітуди дифрагованої рентгенівської хвилі.**

Атомний та структурний фактори. Закони згасання. Вплив температури (фактор Дебая-Валлера). Кінетичний та динамічний підходи. Вплив мозаїчності. Первинна та вторинна екстинкція.

##### **Лекція 9. Експериментальні методи рентгеноструктурного аналізу.**

Метод Лауе. Метод обертання монокристалу. Порошковий метод (полікристали).

### Рекомендована література до ЗМ1

[1], [3]– [7], [10], [11], [13]–[16].

### Контрольні запитання та завдання до ЗМ1

- 1) Точкові елементи симетрії
- 2) Просторові елементи симетрії
- 3) Взаємодія точкових і просторових елементів симетрії. Неможливість існування осей симетрії 5 порядку
- 4) Елементи симетрії макроскопічних тіл
- 5) Міжплощинні відстані
- 6) Індокси Міллера
- 7) Обернена решітка
- 8) Сфера Евальда
- 9) Еквівалентність підходів Лауе та Вульфа-Брега
- 10) Решітка Браве
- 11) Примітивна та елементарна комірки
- 12) Найпростіші типи кристалічних структур –  $NaCl$ ,  $CsCl$
- 13) Фактор Дебая-Валлера
- 14) Агрегатні та фазові стани речовини
- 15) Розрахунок структурного фактору для найпростіших типів кристалічної решітки

### Теми самостійної роботи до ЗМ1

1. Агрегатні та фазові стани речовини. Фермі-конденсати та Бозе-конденсати.
2. Алотропні форми вуглецю. Графіт, алмаз, графен, фулерени, вуглецеві нанотрубки. Методи отримання фулеренів та вуглецевих нанотрубок.
4. Методи вирощування кристалів.
5. Фізичні властивості ДНК як біополімеру.
6. Наноматеріали та їх розмірні відмінності від звичайних матеріалів.

## Змістовний модуль 2

### МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТВЕРДОГО ТІЛА

#### **Лекція 10. Зв'язки у кристалах.**

Типи зв'язків у кристалах. Зв'язки Ван-дер-Ваальса, ковалентний, йонний, водневий. Міжатомні сили та енергія зв'язку. Розрахунок структурного фактора для різних решіток. Розрахунок енергій різних типів зв'язку.

#### **Лекція 11. Пружні властивості твердого тіла.**

Пружні властивості твердого тіла. Густина пружної енергії. Об'ємний модуль. Пружні константи. Модуль Юнга третього порядку.

#### **Лекція 12. Дефекти кристалічної структури.**

Дефекти кристалічної структури. Класифікація дефектів та методи їх спостереження. Вплив дефектів на пружні властивості твердого тіла. Пластичність та рух дислокацій.

#### **Лекція 13. Експериментальні методи вивчення дефектів кристалічної структури.**

Рентгенографічні методи вивчення недосконалостей кристалічної структури. Визначення розмірів кристалітів. Декорування дефектів. Травлення.

#### **Лекція 14. Теорія механічної релаксації. Внутрішнє тертя. Повзучість.**

Теорія механічної релаксації. Частотна залежність величин дійсної та уявної компонент пружних модулів. Спектри часів релаксації. Температурна залежність пружних констант. Внутрішнє тертя. Повзучість.

#### **Лекція 15. Полімери. Отримання полімерів, структура та механічні властивості полімерів.**

Полімери та біополімери. Шляхи отримання полімерів. Основні характеристики полімерів. Склоподібний та високоеластичний стани полімеру. Механічне склування.

#### **Лекція 16. Міцність кристалів. Теорія Гріффітса.**

Руйнування кристалів. Міцність. Теорія Гріффітса. Руйнування твердих тіл при низьких температурах.

#### **Лекція 17. Міцність кристалів. Кінетичний підхід.**

Міцність та довговічність. Температурна та частотна залежності міцності та довговічності. Формула Журкова.

#### **Лекція 18. Експериментальні методи вивчення механічних властивостей твердого тіла.**

Розривна машина. Вимірювання пружних констант з акустичного експерименту. Маятники.

### Рекомендована література до ЗМ2

[1]–[17].

### Контрольні запитання та завдання до ЗМ2

- 1) Типи зв'язків у твердих тілах, їх характеристика
- 2) Пружні константи твердого тіла. Типові значення пружних констант для твердих

тіл

- 3) Методи вимірювання пружних констант твердого тіла
- 4) Класифікація дефектів кристалічної структури
- 5) Діаграма розтягу твердого тіла. Границі пружності, міцності, пластичності
- 6) Рух дислокацій
- 7) Утворення дислокацій. Джерело Франка-Ріда
- 8) Механічна релаксація. Частотна залежність пружних констант твердого тіла
- 9) Температурна залежність пружних констант твердого тіла
- 10) Полімеризація, поліконденсація та синтез полімерів на матриці
- 11) Молекулярна маса полімерів та її вимірювання
- 12) Границя міцності. Залежність границі міцності від розмірів виробу
- 13) Частотна та температурна залежності границі міцності
- 14) Акустична інтерферометрія
- 15) Модуль Юнга третього порядку
- 16) Потенціали міжатомної взаємодії

### **Теми самостійної роботи до ЗМ2**

1. Теорія молекули водню.
2. Методи отримання полімерів.
3. Взаємозв'язок між пружними константами твердого тіла.
4. Розрахунок сталих Маделунга кристалів з використанням сучасних методів комп'ютерної математики.
5. Молекулярні кристали.

## VI семестр

### Змістовний модуль 3

#### ТЕПЛОВІ ВЛАСТИВОСТІ ДІЕЛЕКТРИКІВ

##### **Лекція 1. Теорія теплоємності діелектриків.**

Загальний гамільтоніан кристала. Адіабатичне наближення. Рівняння руху кристала. Гармонічне наближення.

##### **Лекція 2. Коливання простої одновимірної решітки. Нормальні координати.**

Коливання лінійного ланцюжка атомів. Нормальні координати. Фазова та групова швидкості.

##### **Практичне заняття 1. Розрахунок теплоємності модельних систем.**

##### **Лекція 3. Коливання складної одновимірної решітки. Акустичні та оптичні коливання.**

Коливання складної одновимірної решітки. Акустичні та оптичні коливання. Фазова та групова швидкості. Довгохвильове та короткохвильове наближення.

##### **Лекція 4. Коливання атомів тривимірної решітки. Квантово-механічна теорія коливань. Фонони.**

Коливання атомів тривимірної решітки. Рівняння динаміки. Нормальні координати. Оптичні та акустичні коливання. Густина коливань. Квантово-механічна теорія коливань. Фонони. Статистика Бозе-Ейнштейна.

##### **Практичне заняття 2. Дворівнева модель та її нестационарна теплоємність.**

##### **Лекція 5. Теплоємність кристалів. Класичний підхід, теорії Ейнштейна та Дебая.**

Коливання атомів тривимірної решітки. Рівняння динаміки. Нормальні координати. Оптичні та акустичні коливання. Густина коливань. Квантово-механічна теорія коливань. Фонони. Статистика Бозе-Ейнштейна.

##### **Практичне заняття 3. Структурні перебудови в кристалах, їх вплив на теплоємність.**

##### **Лекція 6. Континуальна теорія довгохвильових оптичних коливань. Поляритони.**

Континуальна теорія оптичних коливань іонних кристалів. Дисперсія діелектричної проникності. Поляритони.

##### **Лекція 7. Ангармонізм і теплове розширення.**

Врахування ангармонізму міжатомного потенціалу. Теплове розширення. Коефіцієнт теплового розширення. Залежність густини від температури.

##### **Практичне заняття 4. Вимірювання залежності густини твердого тіла від температури.**

##### **Лекція 8. Ангармонізм і фононна теплопровідність твердого тіла.**

Ангармонізм міжатомного потенціалу як причина міжфононної взаємодії. Процеси перекиду. Тепловий опір та фононна теплопровідність.

##### **Лекція 9. Експериментальні методи вивчення теплоємності, теплопровідності, теплового розширення твердого тіла.**

Калориметрія, дилатометрія, термогравиметрія.

**Практичне заняття 5.** Практичне ознайомлення з методами вимірювання теплоємності твердого тіла.

### **Рекомендована література до ЗМЗ**

[1]–[4], [7], [10]–[17].

### **Контрольні запитання та завдання до ЗМЗ**

- 1) Коливання простої одновимірної решітки
- 2) Коливання складної одновимірної решітки
- 3) Дисперсія швидкості звуку. Групова та фазова швидкості
- 4) Континуальна теорія коливань йонного кристалу
- 5) Теплове розширення тіл
- 6) Міжатомні потенціали
- 7) Класична теорія теплоємності діелектриків. Закон Дюлонга і Пті
- 8) Теорія Ейнштейна теплоємності діелектриків
- 9) Теорія Дебая теплоємності діелектриків
- 10) Ідеологія розрахунку теплоємності твердого тіла
- 11) Фононна теплопровідність твердого тіла

### **Теми самостійної роботи до ЗМЗ**

1. Температурна залежність теплоємності діелектриків. Структурні перебудови, склування полімерів.
2. Метод вторинного квантування.
3. Квазічастинки в твердому тілі – фонони, поляритони, солітони та ін.
4. Методи вимірювання температури. МПТШ-68 та МПТШ-90.
5. Методи вимірювання теплоємності.

## Змістовний модуль 4

### ТЕПЛОВІ ВЛАСТИВОСТІ ПРОВІДНИКІВ

#### **Лекція 10. Зонна теорія електронних станів у твердому тілі.**

Зонна теорія електронних станів у твердому тілі. Провідники, напівпровідники та діелектрики.

#### **Лекція 11. Рівноважна статистика електронів у кристалах.**

Статистика Фермі для електронів. Енергія Фермі, поверхня Фермі.

#### **Практичне заняття 6. Розподіл Фермі-Дірака.**

#### **Лекція 12. Статистика носіїв заряду в напівпровідниках. Електронна теплоємність.**

Власні та домішкові напівпровідники. Статистика носіїв заряду в напівпровідниках. Електронна теплоємність провідників.

#### **Практичне заняття 7. Виділення внеску в теплоємність кристала фононів та електронів.**

#### **Лекція 13. Кінетичні явища в кристалах. Класична теорія електропровідності та теплопровідності металів.**

Кінетичне рівняння Больцмана. Наближення часу релаксації. Закон Відеман-Франца.

#### **Лекція 14. Електрон-фононна взаємодія.**

Метод деформаційного потенціалу. Взаємодія електронів з акустичними та оптичними коливаннями решітки.

#### **Практичне заняття 8. Вивчення термометрів опору з позитивним та негативним температурними коефіцієнтами.**

#### **Лекція 15. Розрахунок електропровідності та електронної теплопровідності металів.**

Розрахунок електропровідності та електронної теплопровідності металів. Залежність електропровідності металів від температури. Низькотемпературні явища. Надпровідність.

#### **Лекція 16. Явища переносу в твердих тілах. Дифузія.**

Рівноважна концентрація вакансій в кристалах. Температурна залежність коефіцієнту дифузії.

#### **Практичне заняття 9. Практичне ознайомлення з методами вимірювання температурної залежності дійсної та уявної частин електричної проникності твердого тіла.**

#### **Лекція 17. Властивості твердих тіл при низьких температурах.**

Холодоламаність і низькотемпературна повзучість. Рухи дислокацій при низьких температурах і низькотемпературна пластичність. Дислокаційна релаксація при низьких температурах.

### Рекомендована література до ЗМ4

[1]–[4], [7]–[12], [14], [15].

### Контрольні запитання та завдання до ЗМ4

1) Статистика Фермі-Дірака



- 2) Рух електронів в періодичному потенціалі. Ефективна маса
- 3) Дисперсія швидкості звуку. Групова та фазова швидкості
- 4) Класична теорія електропровідності металів. Час релаксації
- 5) Теплоємність електронної підсистеми
- 6) Розсіяння електронів на фононах. Температурна залежність опору металів
- 7) Розсіяння електронів на домішках
- 8) Температурна залежність опору напівпровідників
- 9) Дифузія в твердому тілі. Температурна залежність коефіцієнту дифузії

### **Теми самостійної роботи до ЗМ4**

1. Надпровідність. Високотемпературна надпровідність.
2. Фототермоакустика.
3. Температурна залежність контактної різниці потенціалів.
4. *p-n* перехід, його властивості.

### **РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА**

#### **Основна**

1. Зиненко В. И., Сорокин Б. П., Турчин П. П. Основы физики твердого тела. М.: Изд-во Физико-математической литературы, 2001. – 336 с.
2. Р. Пайерлс. Квантовая теория твердых тел. М.: Изд-во иностр. литературы, 1956. – 260 с.
3. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. М.: Наука, 1978. – 792 с.
4. Ансельм И.А. Введение в теорию полупроводников. М.: Наука, 1978. – 616 с.
5. Вундерлих Б. Физика макромолекул. М.: Мир, 1976. – 626 с.
6. Шаскольская М.П. Кристаллография. М.: Высшая школа, 1976. – 376 с.
7. Жданов Г.С., Хунджуа А.Г. Лекции по физике твердого тела. М.: Изд-во МГУ, 1988 – 234 с.
8. В.Р. Регель, А.И. Слуцкер. "Кинетическая теория прочности" в кн. Физика сегодня и завтра. Л.: Наука, 1973.
9. Френкель Я.И. Введение в теорию металлов. Л.: Наука, Ленинградское отд., 1972 – 474 с.

#### **Додаткова**

10. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела. В 2х т. М.: Мир, 1979. – 400 с., 424 с.
11. Давыдов А.С. Теория твердого тела. М.: Наука, 1976. – 640 с.
12. Вонсовский С.В., Канцельсон М.И. Квантовая физика твердого тела. М.: Наука, 1983. – 340 с.
13. Русаков А.А. Рентгенография металлов. М.: Атомиздат, 1976. – 470 с.
14. Жмудський О.З., Максимюк П.О. Кріогенне матеріалознавство. К.: Вища школа, 1979. – 208 с.
15. Пінкевич І.П., Сугаков В.Й. Теорія твердого тіла. К.: ВПЦ Київського ун-ту, 2006. – 336 с.
16. Перепечко И.И. Акустические методы исследования полимеров. М.: Химия, 1973. – 360 с.

17. Вакс В.Г. Межатомные взаимодействия и связь в твердых телах. М.: ИздАТ, 2002. – 256 с.