

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна
Кафедра фізики твердого тіла

“ЗАТВЕРДЖУЮ”



Декан фізичного факультету ХНУ
імені В.Н. Каразіна

Абуслан ВОВК

“ ” * 2023 р.

Робоча програма навчальної дисципліни

Дефекти в кристалах

(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти перший рівень (бакалавр)

галузь знань 10 – природничі науки
(шифр і назва)

спеціальність 104 – фізика та астрономія
(шифр і назва)

освітня програма фізика
(шифр і назва)

спеціалізація _____
(шифр і назва)

вид дисципліни за вибором
(обов'язкова / за вибором)

факультет фізичний

2023/ 2024 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою фізичного факультету
30 серпня 2023 року, протокол № 6

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ: Тонкопряд А.Г. - канд. фіз.-мат. наук., доцент,
доцент кафедри фізики твердого тіла.

Програму схвалено на засіданні кафедри фізики твердого тіла

Протокол № 7 від 28 серпня 2023 року

Завідувач кафедри



Золтан ЗИМАН

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Програму погоджено з гарантом освітньої (професійної/наукової) програми
(керівником проектної групи)

_____ фізика _____
назва освітньої програми

Гарант освітньої (професійної/наукової) програми

(керівник проектної групи)



(підпис)

Олег ЛАЗОРЕНКО
(прізвище та ініціали)

Програму погоджено методичною комісією фізичного факультету

Протокол № 7 від 29 серпня 2023 року

Голова методичної комісії



(підпис)

Микола МАКАРОВСЬКИЙ
(прізвище та ініціали)

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни “Дефекти в кристалах” складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки перший рівень (бакалавр) (назва рівня вищої освіти)

спеціальності (напрямку) 104 – фізика та астрономія

спеціалізації

Опис навчальної дисципліни

1.1. Мета викладання навчальної дисципліни

Метою викладання навчальної дисципліни є надання студентам знань про різні типи дефектів кристалічної будови та їх класифікацію; атомну структуру, геометричні та енергетичні характеристики дефектів кристалічної будови реальних кристалів.

1.2. Основні завдання вивчення дисципліни є засвоєння студентами знань щодо різних недосконалостей кристалічної будови реальних кристалів, а саме: наявності точкових, лінійних, двовимірних та об’ємних дефектів, які в значній мірі обумовлюють більшість фізичних властивостей твердих тіл.

Компетентності, що забезпечуються дисципліною:

- Здатність розв’язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми з фізики та/або астрономії у професійній діяльності або у процесі подальшого навчання, що передбачає застосування певних теорій і методів фізики та/або астрономії і характеризується складністю та невизначеністю умов (ІК).
- Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу (ЗК-1)..
- Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях (ЗК-2).
- Здатність приймати обґрунтовані рішення (ЗК-5).
- Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт (ЗК-8).
- Визначеність і наполегливість щодо поставлених завдань і взятих обов’язків (ЗК-9).
- Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово (ЗК-12).
- Здатність спілкуватися іноземною мовою (ЗК-13).
- Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної фізики та астрономії (ФК-1).
 - Здатність використовувати базові знання з фізики та астрономії для розуміння будови та поведінки природних і штучних об’єктів, законів існування та еволюції Всесвіту (ФК-7).
 - Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації (ФК-9).
 - Здатність самостійно навчатися і опановувати нові знання з фізики, астрономії та суміжних галузей (ФК-10).
 - Усвідомлення професійних етичних аспектів фізичних та астрономічних досліджень (ФК-12).
- Орієнтація на найвищі наукові стандарти – обізнаність щодо фундаментальних

відкриттів та теорій, які суттєво вплинули на розвиток фізики, астрономії та інших природничих наук. (ФК-13).

• Здатність здобувати додаткові компетентності через вибіркові складові освітньої програми, самоосвіту, неформальну та інформальну освіту (ФК-14).

1.3. Кількість кредитів 9

1.4. Загальна кількість годин 270

1.5. Характеристика навчальної дисципліни
за вибором
Денна форма навчання
Рік підготовки
4 - й
Семестр
7-й
Лекції
36 год.
Практичні, семінарські заняття
-
Лабораторні заняття
76 год
Самостійна робота
158 год.
Контрольні роботи
2

1.6. Заплановані результати навчання

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні досягти таких результатів навчання:

знати класифікацію дефектів реальної структури кристалів за геометричними ознаками та з точки зору термодинамічної рівноваги, їх атомну структуру, енергетичні характеристики, умови їх виникнення, спотворення кристалічної ґратки при наявності дефектів кристалічної будови, способи виявлення та дослідження різних дефектів в кристалах.

вміти застосовувати здобуті знання для одержання, аналізу та пояснення експериментальних даних, отриманих за різних умов випробувань металів і сплавів, з урахуванням їх реальної дефектної структури.

Програмні результати навчання, що забезпечуються дисципліною:

• Знати, розуміти та вміти застосовувати на базовому рівні основні положення загальної та теоретичної фізики, зокрема, класичної, релятивістської та квантової механіки, молекулярної фізики та термодинаміки, електромагнетизму, хвильової та квантової оптики, фізики атома та атомного ядра для встановлення, аналізу,

тлумачення, пояснення й класифікації суті та механізмів різноманітних фізичних явищ і процесів для розв'язування складних спеціалізованих задач та практичних проблем з фізики та/або астрономії (ПРН-1).

- Знати і розуміти фізичні основи астрономічних явищ: аналізувати, тлумачити, пояснювати і класифікувати будову та еволюцію астрономічних об'єктів Всесвіту (планет, зір, планетних систем, галактик тощо), а також основні фізичні процеси, які відбуваються в них (ПРН-2).
- Знати і розуміти експериментальні основи фізики: аналізувати, описувати, тлумачити та пояснювати основні експериментальні підтвердження існуючих фізичних теорій (ПРН-3).
- Знати основні актуальні проблеми сучасної фізики та астрономії (ПРН-5).
- Оцінювати вплив новітніх відкриттів на розвиток сучасної фізики та астрономії (ПРН-6).
- Розуміти, аналізувати і пояснювати нові наукові результати, одержані у ході проведення фізичних та астрономічних досліджень відповідно до спеціалізації (ПРН-7).
- Мати базові навички самостійного навчання: вміти відшукувати потрібну інформацію в друкованих та електронних джерелах, аналізувати, систематизувати, розуміти, тлумачити та використовувати її для вирішення наукових і прикладних завдань (ПРН-8).
- Вміти упорядковувати, тлумачити та узагальнювати одержані наукові та практичні результати, робити висновки (ПРН-11).
- Розуміти зв'язок фізики та/або астрономії з іншими природничими та інженерними науками, бути обізнаним з окремими (відповідно до спеціалізації) основними поняттями прикладної фізики, матеріалознавства, інженерії, хімії, біології тощо, а також з окремими об'єктами (технологічними процесами) та природними явищами, що є предметом дослідження інших наук і, водночас, можуть бути предметами фізичних або астрономічних досліджень (ПРН-13).
- Знати і розуміти роль і місце фізики, астрономії та інших природничих наук у загальній системі знань про природу та суспільство, у розвитку техніки й технологій та у формуванні сучасного наукового світогляду (ПРН-17).
- Розуміти значення фізичних досліджень для забезпечення сталого розвитку суспільства (ПРН-22).
- Розуміти історію та закономірності розвитку фізики та астрономії (ПРН-23).
- Розуміти місце фізики та астрономії у загальній системі знань про природу і суспільство та у розвитку суспільства, техніки і технологій (ПРН 24).
- Мати навички самостійного прийняття рішень стосовно своїх освітньої траєкторії та професійного розвитку (ПРН-25).

2. Тематичний план навчальної дисципліни

Класифікація дефектів кристалічної структури

Розділ 1. Точкові дефекти.

Тема 1. Точкові дефекти

Зміст: Види точкових дефектів: вакансії, міжвузольні атоми, домішкові атоми.

Комплекси точкових дефектів. Спотворення кристалічної ґратки навколо точкових дефектів.

Тема 2. Термодинаміка точкових дефектів.

Зміст: Енергія утворення точкових дефектів. Рівноважна концентрація точкових дефектів.

Тема 3. Комплекси точкових дефектів.

Зміст: Комплекси точкових дефектів, їх конфігурація і енергія зв'язку. Рухливість точкових дефектів і їх простих комплексів.

Тема 3. Виникнення точкових дефектів.

Зміст: Виникнення та відпал точкових дефектів. Джерела і стоки точкових дефектів. Способи введення нерівноважної концентрації точкових дефектів: гарт, пластична деформація, опромінення. Поведінка вакансій при загартуванні і відпалі.

Тема 4. Експериментальні методи визначення характеристик точкових дефектів.

Зміст: Експериментальні методи постереження і дослідження точкових дефектів. Методи визначення концентрації вакансій, енергії утворення і енергії активації міграції точкових дефектів.

Розділ 2. Лінійні дефекти: дислокації, дисклінації

Тема 5. Дислокації.

Зміст: Основні типи дислокацій та їх рух.

Крайова дислокація. Ковзання і переповзання крайових дислокацій.

Гвинтові дислокації. Ковзання гвинтової дислокації.

Змішані дислокації. Призматичні дислокації.

Тема 6. Вектор і контур Бюргерса.

Зміст: Вектор і контур Бюргерса. Основні особливості вектора Бюргерса дислокацій. Щільність дислокацій.

Тема 7. Експериментальні методи спостереження дислокацій.

Зміст: Методи декорування, електронної мікроскопії, рентгенівської дифракційної топографії.

Тема 8. Пружні властивості дислокацій.

Зміст: Енергія дислокацій.

Сили, що діють на дислокацію.

Пружня взаємодія між дислокаціями. Сили зображення (взаємодія дислокацій з поверхнею кристала). Взаємодія дислокацій з домішковими атомами. Атмосфери Коттрелла, Снука, Сузукі. Взаємодія дислокацій з вакансіями і міжвузловими атомами.

Тема 9. Повні та часткові дислокації. Розтягнуті дислокації.

Зміст: Енергетичний критерій дислокаційних реакцій (критерій Франка).

Щільні упаковки та дефекти упаковки.

Часткові дислокації на межі дефекта упаковки. Дислокації Шоклі та дислокації Франка. Стандартний тетраедр Томпсона і дислокаційні реакції в ГЦК ґратці.

Вершинні дислокації і дислокації Ломер - Коттрелла
Утворення дислокацій. Розмноження дислокацій при пластичній деформації.
Тема 10. Дисклінації.

Зміст: Дислокації та дисклінації

Дисклінації в безперервному пружному середовищі.

Дисклінації в кристалічній ґратці. Диспірації.

Розділ 3. Двовимірні дефекти: межі зерен і субзерен

Тема 11. Межі зерен.

Зміст: Геометрія меж зерен.. Межі нахилу, крутіння.

Кристалографія меж зерен за кутом розорієнтації.

Тема 12. Види меж зерен.

Зміст: Малокутові межі зерен, їх структура. Межі субзерен. Міжфазні межі.

Полігогізація. Висококутові межі зерен. Спеціальні та довільні межі зерен.

Двійникові межі. Енергія меж зерен

Тема 13. Моделі структури спеціальних висококутових меж зерен.

Зміст: Ґратка співпадаючих вузлів (PCY), повна ґратка накладення (ПРН), модель структурних елементів.

Тема 14. Дефекти структури меж зерен.

Зміст: Зернограничні дислокації та вакансії.

Тема 15. Тривимірні недосконалості кристалічної ґратки.

Зміст: Пори, тріщини, виділення.

3. Структура навчальної дисципліни

Назви модулів і тем	Кількість годин		
	Денна форма		
	Усього	у тому числі	
лекції		С.р.	
1	2	3	4
Розділ 1. Точкові дефекти			
Тема 1	6	2	8
Тема 2	6	2	10
Тема 3	6	2	10
Тема 4	6	2	8
Разом за розділом 1	24	8	36
Розділ 2. Лінійні дефекти: дислокації, дисклінації			
Тема 5	6	2	10
Тема 6	6	2	10
Тема 7	6	2	10
Тема 8	12	4	16
Тема 9	6	4	16
Тема 10	6	2	10
Разом за розділом 1	42	16	28
Розділ 3. Двовимірні дефекти: межі зерен і субзерен			

Тема 11	6	2	8
Тема 12	12	2	10
Тема 13	12	4	16
Тема 14	6	2	10
Тема 15	6	2	10
Разом за розділом 3	30	12	20
Усього годин	108	36	158

4.Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Дослідження фазових перетворень в сталях за допомогою дилатометричного метода.	6
2	Дослідження фазових перетворень в сталях за допомогою термічного диференційного методу.	8
3.	Дослідження фазових перетворень в сплавах за допомогою метода термічного аналізу. Побудова діаграми стану системи свінець-олово.	14
4.	Старіння сплавів.	12
5	Визначення закономірностей та механічних характеристик металічних зразків за умов активного одновісьового розтягнення.	12
6	Оптоелектронні методики для вивчення трансляційної та ротаційної мод пластичної деформації.	10
7	Встановлення структурних та орієнтаційних змін в процесі деформування зразків за допомогою оптоелектронних методик.	14
	Разом	76

5. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
1	Термодинамічно рівноважні та нерівноважні точкові дефекти.	6
2	Механізми міграції точкових дефектів.	6
3	Способи виникнення нерівноважної концентрації точкових дефектів.	8
4	Поведінка вакансій за умов загартування та відпалу.	6
5	Методи визначення енергії міграції вакансій.	8
6	Експериментальні методи спостереження вакансій в металах	12
7	Трансляційні та ротаційні дислокації Вольтери.	8
8	Дисклінації у безперервному пружньому середовищі.	12
9	Методи виявлення дислокацій в металах за допомогою електронної мікроскопії .	12
10	Метод спостереження ліній дислокацій в прозорих кристалах.	6
11	Спеціальні та довільні типи меж зерен.	4
12	Сучасні моделі структури спеціальних меж зерен.	16
13	Сучасні методи дослідження структури меж зерен	16
14	Двійникові межі, види двійників відпалу в структурі полікристалічних зразків.	10
15	Дослідження структури меж висококутових зерен з довільною розорієнтацією за допомогою авто іонної мікроскопії.	10
16	Ознайомлення з оптоелектронною методикою з використанням лазерного випромінювання для спостереження дислокаційного ковзання в процесі розвитку пластичної деформації в зразках.	18
	Разом	158

6.Індивідуальні завдання – не передбачено індивідуальним планом

7. Методи контролю :

поточний контроль; бліц-опитування ;допуск до лабораторних робіт та звітування про виконання лабораторних робіт; перевірка контрольної роботи.

8.Схема нарахування балів

Поточний контроль, контрольна робота				
Виконання та звітування про виконання лабораторних робіт	Контрольні роботи, які передбачені навчальним планом	Разом	Екзамен	Сума балів
50	2	60	40	100
	10			

9. Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка	
	для чотирирівневої шкали	для дворівневої шкали
90 – 100	відмінно	
70-89	добре	
50-69	задовільно	
1-49	незадовільно	

Рекомендована література

Основна література

1. Демченко Л. Д. Дефекти в кристалах : Підручник. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 250 с.
2. Кристалографія та дефекти кристалічної будови / Укл.Л.П.Степанова, В.Я.Грабовський, О.В. Лисиця–Запоріжжя: ЗНТУ, 2019. – 82 с.
3. Бадіян Є.Ю. Практична кристалографія: Навчальний посібник. – Х.: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2010. – 144 с.
4. Зиман З.З., Сіренко А.Ф.. Основи фізичного матеріалознавства: Навчальний посібник. – Х.: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2005. – 288 с.
5. Бойко Ю.И., Богданов В.В. Фізика конденсованого стану в задачах і вправах.– Харків: ХНУ імені В.Н.Каразіна, 2016, 169 с.
6. Бадіян Є.Ю., Тонкопряд А.Г., Шеховцов О.В. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з фізичного матеріалознавства: 1. Вивчення

пластичної деформації та визначення механічних характеристик металів і сплавів. 2. Вирощування

7. Тонкопряд А.Г., Шеховцов О.В. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з фізичного матеріалознавства: вивчення фазових перетворень у сталях за допомогою методу диференційного термічного аналізу та дилатометричного методу. - Х.: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2009. - 33 с.

8. Бадіян Є.Ю., Тонкопряд А.Г., Шурінов Р.В.. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з фізичного матеріалознавства: дослідження механізмів пластичної деформації полікристалів за допомогою оптоелектронних методик. - Х.: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2019. - 34 с.

Допоміжна література

9. Фізика металів – 3.Дефекти в кристалах / Практикум з кредитного модулю / Укладач Демченко Л. Д. – Київ, НТУУ «КПІ»,2014. – 78 с.

10. Фізика конденсованого стану матеріалів: навч. посіб. / Т.П. Говорун, В.О. Пчелінцев, В.М. Радзієвський, Л.В. Носонова. - Суми: СумДУ, 2015. - 236 с.

Інформаційні ресурси

23.Електронний підручник. Defects in Crystals. Prof. Dr. Helmut Föll.

University of Kiel; Faculty of Engineering

http://www.tf.uni-kiel.de/matwis/amat/def_en/index.html

Питання для контрольної роботи:

1. Види точкових дефектів і механізми їх утворення.
- 2.Рівноважна концентрація вакансій і способи отримання надлишкової концентрації вакансій в кристалах.
3. Точкові дефекти і експериментальні методи спостереження і дослідження точкових дефектів.
- 4.Види лінійних дефектів.
5. Вектор і контур Бюргерса, основні властивості вектора Бюргерса.
- 6.Енергія діслокацій.
- 7.Сили, что діють на діслокацію.
- 8.Способи руху крайової та гвинтовою діслокацій в кристалі.
- 9.Описать можливі види взаємодії діслокацій між собою.
- 10.Класифікація меж зерен в полікристалах. Власні зерномежеві дефекти.
11. Типи меж зерен. Моделі структури спеціальних меж зерен.
12. Тривимірні дефекти в кристалах.
- 13.Види дефектів кристалічної будови в реальному полікристалічному матеріалі.
- 14.Методи спостереження дефектів кристалічної будови.

ПРИКЛАДИ ЕКЗАМЕНАЦІЙНИХ ЗАВДАНЬ
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Факультет *фізичний*

Спеціальність *104-фізика та астрономія*

Семестр *7*

Форма навчання *денна*

Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень): *бакалавр*

Навчальна дисципліна: *Дефекти в кристалах*

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ № 1

1. Види точкових дефектів. Енергія утворення точкових дефектів. Рівноважна концентрація точкових дефектів. (25 балів).

2. Межі зерен. Класифікація меж зерен за кутом разорієнтації. Межі нахилу, крутіння. Моделі структури спеціальних меж зерен. (25 балів).

Затверджено на засіданні кафедри фізики твердого тіла
 протокол

Завідувач кафедри _____ (З.З.Зиман)

Екзаменатор _____ (А.Г.Тонкопряд)

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Факультет *фізичний*

Спеціальність *104-фізика та астрономія*

Семестр *7*

Форма навчання *денна*

Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень): *бакалавр*

Навчальна дисципліна: *Дефекти в кристалах*

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ № 2

1. Рівноважна концентрація вакансій і способи отримання надлишкової конценрації вакансій в кристалах. (25 балів).

2 Види лінійних дефектів. Дислокації. Вектор і контур Бюргерса, основні властивості вектора Бюргерса. (25балів).

Затверджено на засіданні кафедри фізики твердого тіла
 протокол

Завідувач кафедри _____ (З.З.Зиман)

Екзаменатор _____ (А.Г.Тонкопряд)

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна
Факультет *фізичний*
Спеціальність *104-фізика та астрономія*
Семестр *7*
Форма навчання *денна*
Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень): *бакалавр*
Навчальна дисципліна: ***Дефекти в кристалах***

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ № 3

1. Виникнення та відпал точкових дефектів. Джерела і стоки точкових дефектів. Способи введення нерівноважної концентрації точкових дефектів. (25 балів).
2. Дислокації. Способи руху крайової та гвинтовою дислокацій в кристалі. (25 балів).

Затверджено на засіданні кафедри фізики твердого тіла
протокол
Завідувач кафедри _____ (З.З.Зиман)
Екзаменатор _____ (А.Г.Тонкопряд)

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна
Факультет *фізичний*
Спеціальність *104-фізика та астрономія*
Семестр *7*
Форма навчання *денна*
Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень): *бакалавр*
Навчальна дисципліна: ***Дефекти в кристалах***

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ № 4

1. Види дефектів кристалічної будови в реальному полікристалічному матеріалі. (25 балів).
2. Класифікація меж зерен в полікрісталах. Структура малокутових та висококутових меж зерен. (25 балів).

Затверджено на засіданні кафедри фізики твердого тіла
протокол
Завідувач кафедри _____ (З.З.Зиман)
Екзаменатор _____ (А.Г.Тонкопряд)

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна
Факультет *фізичний*
Спеціальність *104-фізика та астрономія*
Семестр *7*
Форма навчання *денна*
Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень): *бакалавр*
Навчальна дисципліна: *Дефекти в кристалах*

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ № 5

1. Дислокації та дисклінації. Дисклінації в безперервному пружному середовищі. Дисклінації в кристалічній ґратці. Диспірації. (30 балів).
2. Тривимірні недосконалості кристалічної ґратки. (20 балів).

Затверджено на засіданні кафедри фізики твердого тіла
протокол

Завідувач кафедри _____ (З.З.Зиман)

Екзаменатор _____ (А.Г.Тонкопряд)