Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра фізики кристалів

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Декан
фізичного факультету

Руслан ВОВК

“ ” _____ 2024 р.

Робоча програма навчальної дисципліни

Спецкурс “ Дислокаційна теорія міцності та пластичності кристалів ”

(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти перший (бакалавр)

галузь знань 0402 – природничі науки
(шифр і назва)

напрям підготовки 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

2024/2025 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою фізичного факультету

30 серпня 2024 року, протокол № 9

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ: Пахомова І.М., канд.. фіз..-мат. наук, доцент кафедри фізики кристалів.

Програму схвалено на засіданні кафедри фізики кристалів

Протокол № 9 від 22 серпня 2024 року

Завідувач кафедри

_____
(підпис)

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

Гарант освітньої (професійної/наукової) програми
(керівник проектної групи)

Лазоренко О.В.

_____
(підпис)

Програму погоджено методичною комісією фізичного факультету

Протокол № 1 від 28 серпня 2024 року

Голова методичної комісії Макаровський М.О.

_____
(підпис)

Програма навчальної дисципліни «Дислокаційна теорія міцності та пластичності кристалів» складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки бакалавра напряму 104 – фізика та астрономія

Предметом вивчення навчальної дисципліни є вплив дефектів кристалічної структури на функціональні властивості твердих тіл.

1.Опис навчальної дисципліни

1.1. Мета та завдання навчальної дисципліни
Мета: ознайомити студентів із сучасним станом теорії пластичності та міцності.
1.2. Завдання: освоїти принципи створення матеріалів з підвищеними фізико-механічними властивостями.

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 застосовувати знання у практичних ситуаціях. (ЗК 2)
- Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій. (ЗК 3)
- 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 – 5

1.4. Загальна кількість годин – 150

Характеристика навчальної дисципліни	
Денна форма навчання	Заочна (дистанційна) форма навчання
Рік підготовки	
4-й	-й
Семестр	
7-й	-й
Лекції	
48 год.	год.
Практичні, семінарські заняття	
24 год.	год.
Лабораторні заняття	
год.	год.
Самостійна робота	
78 год.	год.
Індивідуальні завдання: контрольна робота.	

Форма контролю – залік

1.6. Заплановані результати навчання

У результаті вивчення даного курсу студент повинен

знати: фізичні механізми, що приводять до зміцнення та руйнування кристалічних твердих тіл.

вміти: Застосовувати отримані знання при аналізі фізико-механічних властивостей матеріалів, при розробці сучасних технологій отримання перспективних нових матеріалів для різних галузей науки та техніки.

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 відшуковувати 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. Зміст навчальної дисципліни

Тема 1. Теоретичні границя міцності і границя пружності ідеального кристала. Класифікація структурних дефектів в кристалах. Точкові дефекти: (вакансії, міжвузольні атоми); лінійні дефекти; двовимірні дефекти; тривимірні дефекти.

Тема 2. Типи дислокацій. Геометрія дислокацій в найпростіших кристалічних структурах. Модельний опис кристалічних структур коефіцієнт компактності. Порядок упаковки атомних площин (ОЦК, ГЦК, ГПУ, типу NaCl, типу CsCl шаруваті структури)

Тема 3. Динаміка дислокацій: Ковзання. Кількість ковзання. Переповзання. Взаємодія дислокацій. Пружні властивості дислокацій. Деформація, пов'язана з дислокаціями (Пластичний вигин кристалів), пружні моделі лінійних дефектів, поля пружних напру-жень (контури рівних напружень). Енергія дислокацій.

Тема 4. Сили, що діють на дислокації – сила «самодії» (сила лінійного натягу), сили в поле напружень. Взаємодія дислокацій з іншими дефектами кристалічної структури. Точкові дефекти (вакансії, міжвузольні атоми -переповзання) домішкові атоми: енергія вза-ємодії, атмосфери, ковзання дислокацій з атмосферою домішок. Лінійні дефекти: взаємодія між гвинтовими дислокаціями, взаємодія паралельних крайових дисло-кацій з паралельними (антипаралельними) векторами Бюргерса; взаємодія пара-лельних крайових дислокацій із взаємно перпендикулярними векторами Бюргер-са. Двовимірні дефекти: взаємодія дислокацій з поверхнею кристала.

Тема 5. Механізми виникнення дислокацій в кристалах: (джерела Франка-Ріда, джерела при багаторазовому поперечному ковзанні, джерело Бардіна-Харрінга). Діслокаційні межі: лінії ковзання, розподіл дислокацій де системи легкого ков-зання заблоковані. Малокутові дислокаційні межі Типи і геометрія меж. Поля на-пружень симетричній похилій межі. Пружна енергія дислокаційних меж, поліго-нізація. Поведінка меж в полі напруг: (деформація, викликана переміщенням меж, механічна стабільність меж в полі напруг).

Тема 6. Дисклінацій. Методи спостереження дислокацій (ідея методів, техніка, інформація, перева-ги і недоліки.): вибіркове травлення, декорування, рентгенівські методи електро-нно-мікроскопічні методи, автоіонная мікроскопія, електронномікроскопічні методи дослідження.

Тема 7. Феноменологічний опис механічних властивостей твердих тіл. Причини та механізми деформаційного зміцнення кристалів.

Тема 8**.** Релаксація внутрішніх напружень. Дислокаційна (порогова) повзучість кристалів .

Тема 9. Дифузійна повзучість моно- та полікристалів. Повзучість пористих структур. Структурні зміни при повзучості.
Тема 10. Механізми руйнування кристалів. Внутрішнє тертя. Сучасні шляхи підвищення міцності матеріалів.

4. Структура навчальної дисципліни

Назви тем	Кількість годин											
	Денна форма						Заочна форма					
	Усього	у тому числі					Усього	у тому числі				
		л	сем	лаб	інд	ср		л	п	лаб	інд	ср
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Тема 1.	14	4	2			8						
Тема 2.	14	4	2			8						
Тема 3	20	8	4			8						
Тема 4	14	4	2			8						
Тема 5	14	4	2			8						
Тема 6.	16	6	3			7						
Тема 7.	13	4	2			7						
Тема 8	17	6	3			8						
Тема 9	14	4	2			8						
Тема 10	14	4	2			8						
Усього годин	150	48	24			78						

5. Самостійна робота

Самостійна робота - це вид розумової діяльності, за якої студент самостійно (без сторонньої допомоги) опрацьовує практичне питання, тему, вирішує задачу або виконує завдання на основі знань, отриманих з підручників, книг, на лекціях. За курсом «Дислокаційна теорія міцності і пластичності» студент працює із сертифікованими дистанційними курсами:

http://dist.karazin.ua/moodle/course/view.php?id=1312
http://dist.karazin.ua/moodle/course/view.php?id=1342

Виконує усі завдання, відповідаю на питання до самоконтролю, виконує тестові завдання для самоперевірки.

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Дислокаційні вузли і закон Кірхгофа для векторів Бюргерса, електричні аналогії.	4
2	Дефекти упаковки по Франку і Шоклі. тетраедр Томсона.	4
3	Експериментальні методи визначення рухливості дислокацій.	4
4	Пружні моделі дислокацій і дисклінацій.	4
5	Взаємодія дислокацій з поверхнею кристала. Ефект Ребіндера.	4
6	Атмосфери Коттрелла.	4
7	Механізми зародження дислокацій. Джерела Франка-Ріда і Бардіна-Херрінга.	4
8	Геометрія, типи і структура дислокаційних меж.	4
9	Рухливість і механічна стабільність меж в полі напружень.	4

10	Переваги і недоліки методів спостереження дислокацій, інформативність. Непрямі методи оцінки щільності дісклокаций	4
11	Механічні властивості твердих тіл.	3
12	Деформаційне зміцнення кристалів	4
13	Внутрішні напруження.	4
14	Повзучость кристалів..	3
15	Дифузійна повзучість моно- та полікристалів.	4
16	Структурні зміни при повзучості.	4
17	Механізми руйнування кристалів.	4
18	Механізми руйнування кристалів.	4
19	Сучасні шляхи підвищення міцності матеріалів.	4
20	Сучасні шляхи підвищення міцності матеріалів	4
	Разом	78

6. Теми курсових робіт:

Класифікація структурних дефектів в кристалах.

Геометрія дислокацій в найпростіших кристалічних структурах

Динаміка дислокацій.

Сили, які діють на дислокацію.

Механізми утворення дислокацій.

Взаємодія дислокацій з іншими дефектами.

7. Методи навчання

1. Словесні методи - розповідь-пояснення, єлементи бесіди, лекція.
2. Наочні методи - ілюстрація, демонстрація (Інтерактивні слайд-лекції).
3. Методи самостійного мислення студентів (проблемно-пошукові методи).

8. Методи контролю

Контрольна робота у ПЗ My Test X (електронний вигляд).
Письмові відповіді на запитання залікового завдання

БІЛЕТ № 1

1. Теоретичні опір зрушенню і міцність ідеального кристала. Дефекти в кристалах, їх класифікація.
2. Залежність швидкості ковзання дислокацій від температури і величини зсувного напруження (емпіричні залежності і аналітичні вирази). Термоактивуєма область і область в'язкого гальмування. Експериментальні методи визначення рухливості дислокацій.
3. Механічні Властивості кристалів. Активна деформація, повзучість, втома, внутрішнє тертя.
4. Шляхи підвищення міцності і пластичності кристалічних твердих тіл. Дисперсійне зміцнення.

БІЛЕТ № 2

1. Дісклокаціі в суцільному середовищі: визначення контуру і вектора Бюргерса, типи дісклокацій (крайова, гвинтова, змішана, призматичні дислокаційні петлі, спіральні дислокації); дислокаційні вузли і закон Кірхгофа для векторів Бюрге-рса, електричні аналогії.

2. Взаємодія паралельних гвинтових дислокацій. Взаємодія між паралельними крайовими дислокаціями з паралельними і перпендикулярними векторами Бюргерса.

3. Феноменологічний опис пластичної деформації. Коефіцієнти зміцнення, знеміцнення і в'язкості. Визначення форми кривої повзучості.

4. Дифузійне сходження (переповзання) дислокацій: механізм, залежності швидкості переповзання від температури і напруги, енергія активації, сходинках на дислокаціях.

БІЛЕТ № 3

1. Геометрія дислокацій в ГЦК і ОЦК кристалах. Визначення систем ковзання: на-правлінь і площин легкого ковзання. Тетраедр Томсона.
2. Дислокаційні комплекси. Полігонізація. Межі блоків. Геометрія, типи і структура дислокаційних меж.
3. Крива деформаційного зміцнення. Стадії легкого ковзання, зміцнення і знеміцнення.
4. Феноменологічний опис пластичної деформації. Коефіцієнти зміцнення, знеміцнення і в'язкості. Напівструктурні моделі.

БІЛЕТ № 4

1.Поля пружних напруженнь і енергія малокутових симетричних меж. Співвідношення Ріда-Шоклі.

2. Причини і механізми виникнення дислокацій в кристалах.

3. Рух дислокацій через періодичний рельєф решітки. Напруження Пайерлса-Набарро. Критична довжина і енергія утворення подвійних перегинів. Рух подвійних перегинів.

4. Механічні властивості кристалів. Механізми навантаження.

БІЛЕТ № 5

1. Рухливість і механічна стабільність дислокаційних меж в полі напружень.

2. Механізм переміщення дислокацій. Ковзання дислокацій. Закон критичного зсувного напруження. Орієнтаційний фактор (коефіцієнт Шміда). Поперечне ковзання гвинтових дислокацій. Кількість ковзання і густина дислокацій. Співвідношення Орована для швидкості пластичної деформації.

3. Геометрія дислокацій в конкретних кристалічних структурах: ПК, ГПУ кристали, кристали з граткою типу NaCl і CsCl, шаруваті структури. Визначення систем ковзання: напрямків і площин легкого ковзання.

4. Дисклінації.

БІЛЕТ № 6

1.Діффузіонное сходження (переповзання) дислокацій: механізм, залежність швидкості переповзання від температури і величини зовнішнього напруження, енергія активації сходинки на дислокаціях.

2.Пружні властивості індивідуальних дислокацій. Внутрішнє напруження, які створені дислокаціями. Пластичний вигин кристалів. Пружні моделі дислокацій і дисклінацій. Типи дисклінацій.

3. Діслокаційні комплекси. Полігонізація. Межі блоків. Геометрія, типи і структура дислокаційних меж. Поля напружень та енергія межі. Співвідношення Ріда-Шоклі.

4. Теорії опису пластичної деформації.

БІЛЕТ № 7

1. Поля напружень крайових і гвинтових дислокацій. Розподіл напружень і контури рівних напружень. Енергія дислокацій.
2. Сила "самодії" - сила лінійного натягу. Сили, що діють на дислокацію в поле напружень, співвідношення Піча-Келлера.
3. Методи спостереження дислокацій.
4.Основні механізми деформаційного зміцнення монокристалів. Дислокаційні реакції. Критерій Франка. Виникнення сидячих дислокацій (на прикладі кристалів з граткою типу NaCl).

БІЛЕТ № 8

1.Взаімодія дислокацій з точковими дефектами. Енергія взаємодії, розподіл домішкових атомів навколо нерухомої і рухомої дислокації. Атмосфери Коттрелла.
2.Методи спостереження дислокацій.
1. Причини виникнення дислокацій в кристалах. Механізми зародження дислокацій. Джерела Франка-Ріда і Бардіна-Херрінга.
2. Поля напружень і енергія меж. Рухливість і механічна стабільність меж у полі напружень.

9. Розподіл балів, які отримують студенти

Поточне тестування та самостійна робота										Підсумковий контроль (залік)	Сума
Розділ 1					Розділ 2						
Т1	Т2	Т3	Т4	Т5	Т6	Т7	Т8	Т9	Т10		
30=15+15=робота на лекціях і самостійна робота у дистанційному курсі + підсумкове тестування у ПЗ My TestX					30=10+10+10=робота на лекціях і самостійна робота у дистанційному курсі + контрольна робота + підсумкове тестування у ПЗ My TestX					40	100

Критерії оцінювання.

При викладанні дисципліни «**Дислокаційна теорія міцності та пластичності кристалів**» на спеціальності застосовується рейтингова система оцінювання знань, що заохочує і стимулює студентів до більш глибокого вивчення даної дисципліни.

Протягом навчального року бали сумуються і складається рейтинг. Застосовується 100-бальна шкала оцінювання (90-100 балів - "відмінно", 75-89 - "добре", 60-74 - "задовільно", менше 60 балів - "незадовільно"), яка при бажанні легко трансформується в 5-бальну.

Бали можна отримати за:

Робота на лекціях, самостійна робота (доповіді на семінарах, робота у дистанційному курсі) = **30 балів**
30 балів – підсумкове тестування у ПЗ My TestX (2 теста)
40 балів – залік

Додаткові бали можна отримати за:

- участь у дискусіях на лекціях та семінарських заняттях;
- виступи з доповідями на семінарських заняттях;
- участь у форумах в дистанційному курсі;
- участь у чатах в дистанційному курсі;
- створення глосарію в дистанційному курсі.

Визначення	*Оцінка*	
	За 5-бальною системою	*За 100-бальною системою*
ВІДМІННО – відмінне виконання лише з незначною кількістю помилок	5 (відмінно)	90 – 100
ДУЖЕ ДОБРЕ – вище середнього рівня з кількома помилками	4 (добре)	82 – 89
ДОБРЕ – в загальному правильна робота з певною кількістю значних помилок		75 – 81
ЗАДОВІЛЬНО – непогано, але зі значною кількістю недоліків	3 (задовільно)	69 – 74
ДОСТАТНЬО – виконання задовольняє мінімальні критерії		60 – 68
НЕЗАДОВІЛЬНО – потрібно попрацювати перед тим, як перездати	2 (незадовільно)	35 – 59
НЕЗАДОВІЛЬНО – необхідна серйозна подальша робота, обов’язковий повторний курс		1 – 34

10. Методичне забезпечення

1. Програма курсу.
2. Згідно з програмою курсу пакет мультимедійних інтерактивних презентацій.
3. Методичні розробки (навчальний посібник в електронному вигляді).
4. Контрольні завдання. Комп’ютерне тестування.
5. Завдання у тестовому вигляді для самоконтролю та контролю знань.
6. Питання до модульного контролю.
7. Сертифікований дистанційний курс.
8. Білети до підсумкового контролю (екзамен).

12. Рекомендована література

Базова

1. A. Cottrell, Dislocations and Plastic Flow in Crystals, Clarendon Press, 1965
2. D. Hull, D. J. Bacon, Introduction to Dislocations, Butterworth-Heinemann, 2011
3. J. Friedel, Dislocations, Pergamon Press, 1967
4. P. M. Anderson, J. P. Hirth, J. Lothe, Theory of Dislocations, Cambridge University Press, 2017
5. M.F. Ashby, R. Bullough, C.S. Hartley, Dislocation Modelling of Physical Systems, Elsevier, 2013
6. Berner R., Kronmüller, H., Plastische Verformung von Einkristallen (Plastic Deformation of Single Crystals), Springer, 1965
7. Jean-Paul Poirier, Creep of Crystals: High-Temperature Deformation Processes in Metals, Ceramics and Minerals, Cambridge University Press, 1985 .

Допоміжна

1. H. Suzuki, Dislocations in Solids, VSP, 1985

2. F.R.N Nabarro, Z.S. Basinski, D.B. Holt The Plasticity of Pure Single Crystals (Advances in Physics vol. 13 N◦50, London 1964).
3. V. Boyko, R. Garber, A. Kossevich, Reversible Crystal Plasticity, Springer Science & Business Media, 1997
4. F. R. N. Nabarro, Dislocations in Solids: Other effects of dislocations: disclinations, North-Holland Publishing Company, 1980
5. G. Kostorz, H. A. Calderon, J. L. Martin, Fundamental Aspects of Dislocation Interactions: Low-Energy Dislocation Structures, Elsevier, 2013
6. P. Klimanek, A.E. Romanov, Marc Seefeldt, Local Lattice Rotations and Disclinations in Microstructures of Distorted Crystalline Materials, Trans Tech Publications Ltd, 2002
7. T. Suzuki, S. Takeuchi, H. Yoshinaga, Dislocation Dynamics and Plasticity, Springer Science & Business Media, 2013

13. Інформаційні ресурси

1. kfk.biz.ht
2. http://dist.karazin.ua/moodle/course/view.php?id=1342
3. http://dist.karazin.ua/moodle/course/view.php?id=1312