

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

**“ЗАТВЕРДЖУЮ”**

Декан  
фізичного факультету

Руслан БОБК  
“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 р.

Робоча програма навчальної дисципліни

**Спецкурс «Теорія пластичної деформації»**

(шифр і назва навчальної дисципліни)

(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти \_\_\_\_\_ другий (магістр) \_\_\_\_\_  
галузь знань \_\_\_\_\_ 10 – природничі науки \_\_\_\_\_  
(шифр і назва)  
спеціальність \_\_\_\_\_ 104 – фізика та астрономія \_\_\_\_\_  
(шифр і назва)  
освітня програма \_\_\_\_\_ освітньо-наукова фізика \_\_\_\_\_  
(шифр і назва)  
спеціалізація \_\_\_\_\_  
(шифр і назва)  
вид дисципліни \_\_\_\_\_ вібіркова \_\_\_\_\_  
(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: Пахомова І.М., канд. фіз.- мат. наук., доцент кафедри фізики кристалів.

Програму схвалено на засіданні кафедри фізики кристалів

Протокол № 6 від 28 серпня 2023 року

Завідувач кафедри Гриньов Б. В.

\_\_\_\_\_  
(підпис)

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

назва освітньої програми

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

Бойко Ю.І.

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Програму погоджено методичною комісією фізичного факультету

Протокол № 7 від 29 серпня 2023 року

Голова методичної комісії

Макаровський М.О.

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Програма навчальної дисципліни «Теорія пластичної деформації» складена відповідно до освітньо-наукової програми підготовки \_\_\_\_\_ **магістр** \_\_\_\_\_  
напряму 104 – фізика та астрономія

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

### **1.Опис навчальної дисципліни**

Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета: ознайомити студентів із сучасним станом теорії пластичності та міцності.

Завдання: освоїти принципи створення матеріалів з підвищеними фізико-механічними властивостями.

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.

Кількість кредитів – 3

Загальна кількість годин – 90

## 2.

Характеристика навчальної дисципліни	
Денна форма навчання	Заочна (дистанційна) форма навчання
Рік підготовки	
6-й	-й
Семестр	
12-й	-й
Лекції	
30 год.	год.
Практичні, семінарські заняття	
год.	год.
Лабораторні заняття	
год.	год.
Самостійна робота	
60 год.	год.
Індивідуальні завдання: контрольна робота.	
Курсова робота 25 год. (за рахунок с.р.)	

Форма контролю – екзамен

## 3. Зміст навчальної дисципліни

Тема 1. Дисклінацій. Методи спостереження дислокацій (ідея методів, техніка, інформація, переваги і недоліки.): вибіркоче травлення, декорування, рентгенівські методи електро-нно-мікроскопічні методи, автоіонная мікроскопія, електронномікроскопічні методи дослідження.

Тема 2. Феноменологічний опис механічних властивостей твердих тіл. Причини та механізми деформаційного зміцнення кристалів.

Тема 3. Релаксація внутрішніх напружень. Дислокаційна (порогова) повзучість кристалів .

Тема 4. Дифузійна повзучість моно- та полікристалів. Повзучість пористих структур.

Структурні зміни при повзучості.

Тема 5. 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				
го		л	п	лаб	інд	ср		ого	л	п	лаб	інд
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Тема 1.	16	6				10						
Тема 2.	20	6				14						
Тема 3	18	6				12						
Тема 4	18	6				12						
Тема 5	18	6				12						
<b>Усього годин</b>	<b>90</b>	<b>30</b>				<b>60</b>						

## 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.	3
2	Дефекти упаковки по Франку і Шоклі. тетраedr Томсона.	3
3	Експериментальні методи визначення рухливості діслокацій.	3
4	Пружні моделі дислокацій і дисклінацій.	3
5	Взаємодія дислокацій з поверхнею кристала. Ефект Ребіндера.	3
6	Атмосфери Коттрелла.	3
7	Механізми зародження дислокацій. Джерела Франка-Ріда і Бардіна-Херрінга.	3
8	Геометрія, типи і структура дислокаційних меж.	3
9	Рухливість і механічна стабільність меж в полі напружень.	3
10	Переваги і недоліки методів спостереження дислокацій, інформативність. Непрямі методи оцінки щільності діслокацій	3
11	Механічні властивості твердих тіл.	2
12	Деформаційне зміцнення кристалів	4
13	Внутрішні напруження.	4
14	Повзучість кристалів..	4
15	Дифузійна повзучість моно- та полікристалів.	4
16	Структурні зміни при повзучості.	4
17	Механізми руйнування кристалів.	2
18	Механізми руйнування кристалів.	2
19	Сучасні шляхи підвищення міцності матеріалів.	2
20	Сучасні шляхи підвищення міцності матеріалів	2
	Курсова робота виконується кожним студентом. Тема у кожного студента індивідуальна. Таким чином, розрахунок часу на написання курсової роботи входить в частину самостійних годин. Для кожного студента розрахунок – індивідуальний, і в сумі дає 5 годин на одного студента.	
	Разом	60

## 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, елементи 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 екзаменаційного завдання

### ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ № 1

1. Теоретичні опір зрушенню і міцність ідеального кристала. Дефекти в кристалах, їх класифікація. (10 )
2. Залежність швидкості ковзання дислокацій від температури і величини зсувного напруження (емпіричні залежності і аналітичні вирази). Термоактивувана область і область в'язкого гальмування. Експериментальні методи визначення рухливості дислокацій. (10 )
3. Механічні Властивості кристалів. Активна деформація, повзучість, втома, внутрішнє тертя. (10 )
4. Шляхи підвищення міцності і пластичності кристалічних твердих тіл. Дисперсійне зміцнення. (10 )

### ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ № 2

1. Дислокації в суцільному середовищі: визначення контуру і вектора Бюргерса, типи дислокацій (крайова, гвинтова, змішана, призматичні дислокаційні петлі, спіральні дислокації); дислокаційні вузли і закон Кірхгофа для векторів Бюрге-рса, електричні аналогії. (10)
2. Взаємодія паралельних гвинтових дислокацій. Взаємодія між паралельними крайовими дислокаціями з паралельними і перпендикулярними векторами Бюргерса. (10)
3. Феноменологічний опис пластичної деформації. Коефіцієнти зміцнення, знеміцнення і в'язкості. Визначення форми кривої повзучості. (10)
4. Дифузійне сходження (переповзання) дислокацій: механізм, залежності швидкості переповзання від температури і напруги, енергія активації, сходження на дислокаціях. (10)

### ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ № 3

1. Геометрія дислокацій в ГЦК і ОЦК кристалах. Визначення систем ковзання: на-правлінь і площин легкого ковзання. Тетраedr Томсона. (10 )
2. Дислокаційні комплекси. Полігонізація. Межі блоків. Геометрія, типи і структура дислокаційних меж. (10 )
3. Крива деформаційного зміцнення. Стадії легкого ковзання, зміцнення і знеміцнення. (10 )
4. Феноменологічний опис пластичної деформації. Коефіцієнти зміцнення, знеміцнення і в'язкості. Напівструктурні моделі. (10 )

### ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ № 4

1. Поля пружних напружень і енергія малокутових симетричних меж. Співвідношення Ріда-Шоклі. (10)
2. Причини і механізми виникнення дислокацій в кристалах. (10)
3. Рух дислокацій через періодичний рельєф решітки. Напруження Пайерлса-Набарро. Критична довжина і енергія утворення подвійних перегинів. Рух подвійних перегинів. (10)
4. Механічні властивості кристалів. Механізми навантаження. (10)

### ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ № 5

1. Рухливість і механічна стабільність дислокаційних меж в полі напружень. (10)

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. (10)

3. Геометрія дислокацій в конкретних кристалічних структурах: ПК, ГПУ кристали, кристали з ґраткою типу NaCl і CsCl, шаруваті структури. Визначення систем ковзання: напрямків і площин легкого ковзання. (10)

4. Дисклінації. (10)

### ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ № 6

1. Дифузійне сходження (переповзання) дислокацій: механізм, залежність швидкості переповзання від температури і величини зовнішнього напруження, енергія активації сходінки на дислокаціях. (10)

2. Пружні властивості індивідуальних дислокацій. Внутрішнє напруження, які створені дислокаціями. Пластичний вигин кристалів. Пружні моделі дислокацій і дисклінацій. Типи дисклінацій. (10)

3. Дислокаційні комплекси. Полігонізація. Межі блоків. Геометрія, типи і структура дислокаційних меж. Поля напружень та енергія межі. Співвідношення Ріда-Шоклі. (10)

4. Теорії опису пластичної деформації. (10)

### ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ № 7

1. Поля напружень крайових і гвинтових дислокацій. Розподіл напружень і контури рівних напружень. Енергія дислокацій. (10)

2. Сила "самодії" - сила лінійного натягу. Сили, що діють на дислокацію в поле напружень, співвідношення Піча-Келлера. (10)

3. Методи спостереження дислокацій. (10)

4. Основні механізми деформаційного зміцнення монокристалів. Дислокаційні реакції. Критерій Франка. Виникнення сидячих дислокацій (на прикладі кристалів з ґраткою типу NaCl). (10)

### ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ № 8

1. Взаємодія дислокацій з точковими дефектами. Енергія взаємодії, розподіл домішкових атомів навколо нерухомої і рухомої дислокації. Атмосфери Коттрелла. (10)

2. Методи спостереження дислокацій. (10)

1. Причини виникнення дислокацій в кристалах. Механізми зародження дислокацій. Джерела Франка-Ріда і Бардіна-Херрінга. (10)

2. Поля напружень і енергія меж. Рухливість і механічна стабільність меж у полі напружень. (10)

### 9. Розподіл балів, які отримують студенти

Поточне тестування та самостійна робота										Підсумковий контроль (екзамен)	Сума
Розділ 1					Розділ 2						
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10		100
30=10+10+10=робота на лекціях і самостійна робота у дистанційному курсі + курсова робота + 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	

### 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) = **20 балів**  
10 балів – контрольна робота = **10 балів**  
10 балів – курсова робота = **10 балів**  
10 балів – підсумкове тестування у ПЗ My TestX (2 теста) = **20 балів**  
40 балів – екзамен = **40 балів**

#### **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



## 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 №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. Kosterz, 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>