

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

Фізичний факультет  
(назва факультету)

Кафедра загальної фізики



**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ<sup>1</sup>**  
**МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТВЕРДИХ ТІЛ**

(повна назва навчальної дисципліни)

**для студентів**

галузь знань 10 Природничі науки  
(шифр і назва)  
спеціальність 104 Фізика та астрономія  
(шифр і назва спеціальності)  
освітній ступінь бакалавр  
(молодший бакалавр, бакалавр, магістр)  
освітня програма Фізичне матеріалознавство / Неметалічне матеріалознавство  
(назва освітньої програми)  
спеціалізація  
(за наявності) (назва спеціалізації)  
вид дисципліни вибіркова *ВЗ 4.1.2.*

Форма навчання	<u>денна</u>
Навчальний рік	<u>2024/2025</u>
Семестр	<u>5</u>
Мова викладання, навчання та оцінювання	<u>українська</u>
Форма заключного контролю	<u>іспит</u>

Викладачі: доцент Оліх Олег Ярославович,

(Науково-педагогічні працівники, які забезпечують викладання даної дисципліни у відповідному навчальному році)

Пролонговано: на 20\_\_/20\_\_ н.р. \_\_\_\_\_ (\_\_\_\_\_) «\_\_» 20\_\_р.  
(підпис, ПІБ, дата)  
на 20\_\_/20\_\_ н.р. \_\_\_\_\_ (\_\_\_\_\_) «\_\_» 20\_\_р.  
(підпис, ПІБ, дата)  
на 20\_\_/20\_\_ н.р. \_\_\_\_\_ (\_\_\_\_\_) «\_\_» 20\_\_р.  
(підпис, ПІБ, дата)

**КИЇВ – 2022**

<sup>1</sup> Робоча програма навчальної дисципліни є нормативним документом вищого навчального закладу і містить виклад конкретного змісту навчальної дисципліни, послідовність, організаційні форми її вивчення та їх обсяг, визначає форми та засоби поточного і підсумкового контролю.

Розробники<sup>2</sup>:

Оліх Олег Ярославович, доктор фіз.-мат. наук, доцент,  
професор кафедри загальної фізики,

*(вказати авторів: ПІБ, науковий ступінь, вчене звання, посада, кафедра)*

ЗАТВЕРДЖЕНО

Зав. кафедри

(підпис)

(Микола БОРОВИЙ)

(прізвище та ініціали)

Протокол №\_ від « »

2022 р.

Схвалено науково-методичною комісією факультету/інституту<sup>3</sup>

Протокол від «10» червня 2022 року № 11

Голова науково-методичної комісії

(підпис)

(Олег ОЛІХ)

(прізвище та ініціали)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 року

<sup>2</sup> Розробляється лектором. Робоча програма навчальної дисципліни розглядається на засіданні кафедри (циклової комісії – для коледжів), науково-методичної комісії факультету/інституту (раді навчального закладу - коледжу), підписується завідувачем кафедри (головою циклової комісії), головою науково-методичної комісії факультету/інституту (головою ради) і затверджується заступником декана/директора інституту з навчальної роботи (заступником директора коледжу).

<sup>3</sup> У випадку читання дисципліни, яка не є профільною для факультету чи інституту обов'язковим є погодження з науково-методичною комісією профільного факультету. У випадку економічних та юридичних наук погодження із предметною комісією з економічних та юридичних наук при Науково-методичній раді Університету.

## ВСТУП

**1. Мета дисципліни** – отримання глибоких та систематичних знань щодо механічних властивостей твердих тіл, методів їх опису та дослідження, а також особливостей внутрішньої будови, які ці властивості визначають.

**2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни:**

1. Знати основні закони механіки, молекулярної фізики, термодинаміки, статистичної фізики, електрики та магнетизму.
2. Вміти застосовувати попередні знання з курсів математичного аналізу, диференціальних та інтегральних рівнянь, тензорного та векторного аналізу для розв'язку різноманітних рівнянь, знаходження похідних та екстремумів функцій, операцій з тензорними величинами.
3. Мати елементарні навички проведення експериментів та обробки результатів експериментальних досліджень.

**3. Анотація навчальної дисципліни / референс:**

В рамках курсу «Механічні властивості твердих тіл» розглядаються основні механічні властивості, методи опису напруженого та деформованного стану твердих тіл, фізичні процеси, які відбуваються на мікрорівні під час всіх типів деформацій. Надаються глибокі знання щодо взаємозв'язку дефектної структури кристалів та характеристик пластичної деформації та руйнування. Частина матеріалу стосується термодинамічним аспектам процесів, які відбуваються при деформації, зокрема синергетичним процесам упорядкування під час пластичної деформації. Особлива увага приділяється таким явищам як надпружність, феропружність, ефект пам'яті форми. Навчальна задача курсу також полягає у засвоєнні принципів роботи статичних та динамічних методів визначення механічних характеристик, а також отримання навичок їхнього практичного застосування. Методи викладання: лекції, лабораторні роботи, консультації. Методи оцінювання: опитування в процесі лекції, модульні контрольні роботи, захист лабораторних робіт, іспит. Підсумкова оцінка виставляється на основі проміжних оцінок (60%) та іспиту (40%).

**4. Завдання (навчальні цілі)** – засвоєння методів опису та дослідження механічних властивостей твердих тіл, а також особливостей їхньої внутрішньої будови, які ці властивості визначають. Дисципліна спрямована на досягнення таких компетентностей як, здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу (ЗК1), Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях (ЗК2), здатність використовувати базові знання з фізики та астрономії для розуміння будови та поведінки природних і штучних об'єктів, законів існування та еволюції Всесвіту (ФК7), здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації (ФК9).

**5. Результати навчання за дисципліною:** (описуються з детальною достовірністю для розробки заходів оцінювання)

Результат навчання (1. знати; 2. вміти; 3. комунікація*; 4. автономність та відповідальність*)		Методи викладання і навчання	Методи оцінювання	Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни
Код	Результат навчання			
1.1	знати основні механічні властивості твердих тіл	лекції	модульна контрольна робота, усне опитування, іспит	10
1.2	знати методи вимірювання основних механічних властивостей	лекції	модульна контрольна робота, усне опитування, іспит	10

\* заповнюється за необхідністю, наприклад для практик, лабораторних курсів тощо.

\*

1.3	знати взаємозв'язок механічних властивостей з внутрішньою будовою речовини	лекції	модульна контрольна робота, усне опитування, іспит	5
1.4	знати фізичні процеси, які відбуваються в матеріалах під час руйнування, пружної та пластичної деформації	лекції	модульна контрольна робота, усне опитування, іспит	10
1.5	знати фізичні механізми надпружності та ефекту пам'яті форми	лекції	модульна контрольна робота, усне опитування, іспит	5
1.6	знати елементи термодинаміки пружних та залишкових деформацій	лекції	модульна контрольна робота, усне опитування, іспит	5
2.1	вміти описувати напружений та деформований стани твердих тіл	лекції	модульна контрольна робота, усне опитування, іспит	10
2.2	вміти вимірювати основні механічні властивості	лекції, лабораторні роботи	модульна контрольна робота, оформлення результатів та захист лабораторних робіт, іспит	5
2.3	вміти вибирати фізичні методи та моделі для пояснення механічних явищ	лекції	модульна контрольна робота, усне опитування, іспит	10
2.4	вміти визначати фактори впливу на результатами експериментальних досліджень механічних характеристик	лабораторні роботи	оформлення результатів та захист лабораторних робіт, усне опитування	5
3.1	представляти результати вимірювання та розрахунків у вигляді, що доступні як для фахівців, так і не фахівців у фізичному матеріалознавстві	лабораторні роботи	оформлення результатів та захист лабораторних робіт	10
4.1	знаходити інформацію щодо питань, винесених на самостійне опрацювання	лекції	модульна контрольна робота, усне опитування, іспит	10
4.2	формулювати ціннісні судження щодо доцільності застосування певних експериментальних методів для отримання необхідних механічних характеристик	лекції	модульна контрольна робота, усне опитування, іспит	5

**6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання (необов'язково для вибіркових дисциплін)**

Результати навчання дисципліни Програмні результати навчання	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	2.1	2.2	2.3	2.4	3.1	4.1	4.2
ПРН1. 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.													
ПРН7. Розуміти, аналізувати і пояснювати нові наукові результати, одержані у ході проведення фізичних та астрономічних досліджень відповідно до спеціалізації.		+	+	+		+		+	+	+	+	+	+

## 7. Схема формування оцінки:

**7.1 Форми оцінювання студентів:** (зазначається перелік видів робіт та форм їх контролю / оцінювання із зазначенням *Min.* – рубіжної та *Max.* кількості балів чи відсотків)

### - семестрове оцінювання:

1. Опитування під час першого змістового модуля – 5 балів/ 3 бали
2. Модульна контрольна робота 1 – 15 балів/ 9 балів
3. Опитування під час другого змістового модуля – 5 балів/ 3 бали
4. Модульна контрольна робота 2 – 15 балів/ 9 балів
5. Виконання та здача лабораторних робіт – 20 балів/12 балів

Модуль 1: оцінка за відповіді при усному опитуванні, за модульну контрольну роботу з теми «Механічні властивості та механізм пружної деформації», за здачу лабораторних робіт – 30 балів (рубіжна оцінка 18 балів).

Модуль 2: оцінка за відповіді при усному опитуванні, за модульну контрольну роботу з теми «Пластична деформація та руйнування», за здачу лабораторних робіт – 30 балів (рубіжна оцінка 18 балів).

Для студентів, які упродовж семестру не досягли мінімального рубіжного рівня оцінки (60% від максимально можливої кількості балів) проводиться заключна семестрова контрольна робота, максимальна оцінка за яку не може перевищувати 20% підсумкової оцінки (до 20 балів за 100-бальною шкалою).

**- підсумкове оцінювання у формі іспиту,** максимальна оцінка 40 балів (рубіжна оцінка 24 балів). Підсумкова кількість балів з дисципліни (максимум 100 балів), яка визначається як сума балів за систематичну роботу впродовж семестру та за результатами проведення іспиту. *Результатами навчання, які оцінюються під час іспиту, є РН 1.1. - 4.2.*

При простому розрахунку отримаємо:

	ЗМ1	ЗМ2	іспит	Підсумкова оцінка
<i>Мінімум</i>	<u>18</u>	<u>18</u>	<u>24</u>	<u>60</u>
<i>Максимум</i>	<u>30</u>	<u>30</u>	<u>40</u>	<u>100</u>

Студент не допускається до іспиту, якщо під час семестру набрав менше 36 балів. Для допуску до іспиту студент обов'язково має здати всі лабораторні роботи, написати передбачені програмою контрольні роботи або написати заключну семестрову контрольну роботу. Оцінка за залік не може бути меншою 36 балів для отримання загальної позитивної оцінки за курс.

Умовою отримання позитивної результуючої оцінки з дисципліни є досягнення не менш як 60% від максимально можливої кількості балів.

**7.2 Організація оцінювання:** (обов'язково зазначається порядок організації передбачених

робочою навчальною програмою форм оцінювання із зазначенням, у тому числі, результатів навчання, опанування яких перевіряється конкретним оцінюванням).

Рівень досягнення запланованих результатів навчання визначається за результатами написання та захисту письмових контрольних робіт, відповідей при усному опитуванні.

Питома вага результатів навчання у підсумковій оцінці за умови її опанування на належному рівні:

- результати навчання 1.1 – 1.6 (знання) – до 45% ;
- результати навчання 2.1 – 2.4 (вміння) – до 30% ;
- результати навчання 3.1. (комунікація) – до 10% ;
- результати навчання 4.1 – 4.2. (автономність і відповідальність) – до 15% .

У курсі передбачено 2 змістові модулі. Після завершення відповідних частин проводяться модульні контрольні роботи. Передбачено також усне опитування під час лекцій.

### 7.3 Шкала відповідності

<b>Відмінно</b> / Excellent	90-100
<b>Добре</b> / Good	75-89
<b>Задовільно</b> / Satisfactory	60-74
<b>Незадовільно</b> з можливістю повторного складання / Fail	35-59
<b>Незадовільно</b> з обов'язковим повторним вивченням дисципліни / Fail	0-34
<b>Зараховано</b> / Passed	60-100
<b>Не зараховано</b> / Fail	0-59

## СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ЛЕКЦІЙ

№ п/п	Назва теми	Кількість годин		
		лекції	лабораторні	Самостійна робота
Частина 1. Механічні властивості та механізм пружної деформації				
1	<b>Тема 1.</b> Основні статичні та динамічні механічні властивості. <i>Механічне напруження. Деформація, типи деформації. Діаграма напруга-деформація. Межі пропорційності, пружності, плинності, міцності. Діаграма істинних напружень. Методи визначення механічних характеристик при розтягу, стиску, вигині та крученні. Твердість. Визначення твердості за методами Брінеля, Віккерса, Роквела. Ударна в'язкість, методи її визначення. Повзучість, стадії повзучості. Релаксаційні криві. Втомне руйнування, криві Веллера. Витривалість матеріалу. Термічна втома. Жароміцність. Жаростійкість.</i> <b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції. Шкала твердості Мооса.	4		4
2	<b>Тема 2.</b> Елементи теорії суцільного середовища <i>Напружений стан. Нормальні та тангенційні напруження. Метод кілець Мора. Тензор напруг. Головні осі напруг. Кульовий тензор напруг та девіатор напруг. Деформований стан. Видовження та зсуви. Тензор деформацій. Кульовий тензор деформацій та девіатор деформацій.</i> <b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції. Простий і чистий зсуви.	2		2

3	<p><b>Тема 3.</b> Узагальнений закон Гука. Зв'язок закону Гука та енергії міжатомної взаємодії. Узагальнений закон Гука. Мікромодулі пружності, їх фізичний зміст. Вигляд матриці пружних сталей для гексагональних та кубічних кристалів та анізотропного середовища. Фактори, що впливають на пружні сталі. <b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції. Зв'язок мікромодулів пружності та інтегральних пружних характеристик (модулів Юнга, зсуву, всебічного стиску, коефіцієнта Пуассона).</p>	2		2
4	<p><b>Тема 4.</b> Методи визначення пружних сталей та пружна післядія Статичні методи визначення пружних сталей (розтяг, закручування, вигин). Динамічні методи визначення пружних сталей: вимірювання частот власних коливань, ультразвукові методи. Енергія пружної деформації. Термодинамічна оцінка модуля Юнга. Наслідки з принципу Ле Шательє при пружній деформації. Адіабатичний і ізотермічний модулі пружності. Термопружне внутрішнє тертя. <b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції. Оцінювання пружності реальних тіл.</p>	2		3
5	<p><b>Тема 5.</b> Основні закономірності пластичної деформації. Пластичність. Зсув (ковзання), площини зсуву, особливості зсуву. Двійникування, особливості двійникування, типи двійників. Аморфно-деформаційний механізм пластичної деформації. Загальні закономірності пластичної деформації. Критичне напруження зсуву. Формула Френкеля. <b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції. Пластична деформація полікристалів.</p>	2		2
6	<p><b>Тема 6.</b> Основні нульмірні та одномірні дефекти в кристалічних тілах. Типи точкових дефектів. Типи дислокацій. Вектор Бюргерса. Густина дислокацій. Рух дислокацій. Фактори, що заважають руху дислокацій. Методи дослідження дислокацій. <b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції. Дислокаційні реакції.</p>	2		2
	Модульна контрольна робота I			2
<b>Частина 2. Пластична деформація та руйнування</b>				
7	<p><b>Тема 7.</b> Дислокаційні механізми зсуву і двійникування. Дислокаційний механізм зсуву. Механізми розмноження дислокацій. Часткові дислокації. Пояснення особливостей пластичної деформації на базі дислокаційного механізму. Основні стадії пластичної деформації. Швидкість пластичної деформації. <b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції. Дислокаційний механізм двійникування.</p>	2		2
8	<p><b>Тема 8.</b> . Вплив пластичної деформації на дефектну структуру кристалів. Наклеп. Повернення. Відпочинок. Полігонізація. Рекристалізація, стадії рекристалізації. Фактори, що визначають розміри рекристалізованого зерна. Ефект Баушінгера. Надпластичність, умови переведення матеріалу в надпластичний стан. <b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції. Низькотемпературна і високотемпературна повзучість.</p>	2		2

9	<b>Тема 9.</b> Елементи термодинаміки пластичної деформації. <i>Опис реальних термодинамічних систем. Конфігураційна ентропія. Формування структури при пластичній деформації металу. Термодинамічне трактування межі плинності.</i> <b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції. Критерій Холомона.	2		3
10	<b>Тема 10.</b> Типи руйнування. Теоретичні оцінки. <i>Причини руйнування. Критерії поділу типів руйнування. Крихке та в'язке руйнування. Руйнування зрізом та відривом. Міцність. Енергетичний та силовий підходи оцінки міцності. Формула Орована. Дослід Йоффе. Вплив дефектів на міцність.</i> <b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції. Оцінка міцності на розрив іонних кристалів.	2		2
11	<b>Тема 11.</b> Теорія Гріфітса для крихкого руйнування. <i>Тріщини як концентратори напруг. Теорія Гріфітса для крихкого руйнування. Крихке руйнування металів. Холодноламкість. Механізми Стро, Котрела та Інденбома зародження тріщин. Методи спинення руху тріщин. Втома і живучість металів.</i> <b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції. Надміцність: пояснення та застосування.	2		2
12	<b>Тема 12.</b> Зворотна пластичність металів <i>Явище поліморфізму. Механізми поліморфних перетворень. Мартенситне перетворення. Термопружне мартенситне перетворення. Фізичний механізм надпружності. Пружне двійниковання. Феропружність. Діаграма напруга-деформація матеріалу з пам'яттю форми. Фізичний механізм ефекту пам'яті форми. Подвійна пам'ять форми, способи її отримання.</i> <b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції. Сучасні способи практичного використання ефекту подвійної пам'яті форми	4		4
	Модульна контрольна робота 2			2
<b>Перелік лабораторних робіт</b>				
	<b>Робота 1.</b> Визначення модуля Юнга динамічним методом.		2	2
	<b>Робота 2.</b> Вивчення роботи мікротвердоміра ПІМТ-3		4	4
	<b>Робота 3.</b> Вивчення активаційного об'єму дислокацій		2	2
	<b>Робота 4.</b> Вивчення температурної залежності рухливості дислокацій і визначення енергії активації їхнього руху		4	4
	<b>Робота 5.</b> Перевірка закону Холла-Петча		2	2
	<b>ВСЬОГО</b>	<b>28</b>	<b>14</b>	<b>48</b>

Примітка: слід зазначити теми, винесені на самостійне вивчення

**Загальний обсяг 90 год.<sup>1</sup>**, в тому числі:

Лекцій – **28 год.**

Семінари – **0 год.**

Практичні заняття – **0 год.**

Лабораторні заняття – **14 год.**

Тренінги – **0 год.**

Консультації – **1 год.**

Самостійна робота – **48 год.**

<sup>1</sup> Загальна кількість годин, відведених на дану дисципліну згідно з навчальним планом.



## РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА<sup>2</sup>:

### *Основна:*

1. Оліх О.Я. Дефекти у напівпровідникових та діелектричних кристалах. Вінниця, ФОП Корзун Д.Ю., 2016, 152 с. (<https://gen.phys.univ.kiev.ua/wp-content/uploads/2022/09/Olih-Defekti-A5.pdf>)
2. Жмудський О.З., Максимюк П.О. Кріогенне матеріалознавство. К., «Вища школа», 1979, 208 с. (бібліотека фізичного факультету)
3. Божидарник В.В., Сулим Г.Т. Елементи теорії пластичності та міцності, т.1, Львів, «Світ», 1999, 530 с.
4. Болеста І. Фізика твердого тіла. Львів, видавничий центр ЛНУ ім. І. Франка, 2003, 480 с.
5. Поплавко Ю. М. Фізика твердого тіла. Том 1. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2017, 415 с ([https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/22938/1/PoplavkoYu.M.\\_Fizyka-tverdoho-tila\\_T.1.pdf](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/22938/1/PoplavkoYu.M._Fizyka-tverdoho-tila_T.1.pdf))

### *Додаткова:*

6. Новиков Н.Н. Структура и структурно-чувствительные свойства реальных кристаллов. К., «Вища школа», 1983, 264 с. (бібліотека фізичного факультету)
7. Новіков М.М. Мікро- і макродеформація ковалентних кристалів. Курс лекцій для студентів фізичного факультету. К., Видавничий центр “Київський університет”, 2000, 87 с. (бібліотека фізичного факультету)
8. Бойко В.С., Гарбер Р.И., Косевич А.М. Обратимая пластичность кристаллов, М., «Наука», 1991, 279 с.
9. Займовский В.А., Колупаева Т.Л. Необычные свойства обычных металлов. М., «Наука», 1984, 192 с.