

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Кафедра

мікро- та наноелектроніки
(найменування кафедри)

СИЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ФІЗИКА ТВЕРДОГО ТІЛА

(назва навчальної дисципліни)

Освітня програма:

Якість, стандартизація та сертифікація
(назва освітньої програми)

Спеціальність:

152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка
(найменування спеціальності)

Галузь знань:

15 Автоматизація та приладобудування
(найменування галузі знань)

Ступінь вищої освіти:

бакалавр
(назва ступеня вищої освіти)

Затверджено на засіданні кафедри
мікро-та наноелектроніки
(найменування кафедри)

Протокол №1 від 17.08.2021 р.

1. Загальна інформація	
Назва дисципліни	Фізика твердого тіла Навчальна дисципліна вибіркової компоненти
Рівень вищої освіти	Перший (бакалаврський) рівень
Викладач	Погосов В.В., д.фіз.-матем.н., професор, професор кафедри мікро- та наноелектроніки
Контактна інформація викладача	7646733, телефон викладача 0957717794, e-mail: vpogosov@zntu.edu.ua
Час і місце проведення навчальної дисципліни	згідно до розкладу занять
Обсяг дисципліни	Кількість годин – загальний обсяг 135 годин кредитів – 4,5 кредитів ЄКТС: 30 годин лекційних, 30 годин практичних занять, 14 годин лабораторних робіт, 61 година самостійна робота, вид контролю - екзамен
Консультації	Згідно з графіком консультацій https://zp.edu.ua/kafedra-mikro-ta-nanoelektroniki
2.Пререквізити і постреквізити навчальної дисципліни	
Пререквізити ОК 02 «Вища математика», ОК 03 «Фізика», ОК 09 «Фізична хімія», ОК 12 «Основи метрології та інформаційно-вимірювальної техніки», Постреквізити ВК 17 «Діелектрична спектроскопія», ВК 19 «Основи магнітометрії конструкційних матеріалів», ВК 27 «Магнітні вимірювання».	
3. Характеристика навчальної дисципліни	
<p>Фізика твердого тіла – розділ фізики, який вивчає фізичні властивості і структуру твердого тіла, розробляє теоретичні уявлення, які пояснюють ці властивості. Фізика твердого тіла зводиться, по суті, до встановлення зв'язку між властивостями індивідуальних атомів і молекул і властивостями, які виявляються при об'єднанні атомів або молекул в гігантські асоціації у вигляді регулярно-впорядкованих систем - кристалів. Ці властивості можна пояснити, спираючись на фізичні моделі твердих тіл. Фізика твердого тіла – наукова база для фізичного матеріалознавства. Вивчення навчальної дисципліни «Фізика твердого тіла» дозволить студенту здійснити концептуальний виклад мети, змісту, методів дослідження, які забезпечують отримання максимально об'єктивної, точної, систематизованої інформації про процеси та явища.</p> <p>У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен отримати</p> <p>загальні компетентності:</p> <ul style="list-style-type: none"> ❖ K01. Здатність застосовувати професійні знання й уміння у практичних ситуаціях; ❖ K02. Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово; ❖ K04. Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій; ❖ K05. Здатність до пошуку, опрацювання та аналізу інформації з різних джерел; ❖ K08. Здатність вчитися, здобувати нові знання, уміння, у тому числі в галузі, відмінній від професійної; <p>фахові компетентності:</p> <ul style="list-style-type: none"> ❖ K13. Здатність проводити аналіз складових похибки за їх суттєвими ознаками, оперувати складовими похибки / невизначеності у відповідності з моделями вимірювання. ❖ K15. Здатність, виходячи з вимірювальної задачі, пояснювати та описувати принципи побудови обчислювальних компонент засобів вимірювальної техніки. ❖ K21. Здатність до здійснення налагодження і дослідної перевірки окремих видів приладів в лабораторних умовах і на об'єктах. <p>Очікувані програмні результати навчання:</p>	

- ПР02. Знати і розуміти основні поняття метрології, теорії вимірювань, математичного та комп'ютерного моделювання, сучасні методи обробки та оцінювання точності вимірювального експерименту;
- ПР03. Розуміти широкий міждисциплінарний контекст спеціальності, її місце в теорії пізнання і оцінювання об'єктів і явищ.
- ПР08. Вміти організовувати та проводити вимірювання, технічний контроль і випробування.
- ПР09. Розуміти застосовувані методики та методи аналізу, проектування і дослідження, а також обмежень їх використання.
- ПР12. Знати та розуміти сучасні теоретичні та експериментальні методи досліджень з оцінюванням точності отриманих результатів, в тому числі шляхом математичного моделювання.
- ПР14. Вміти організувати процедуру вимірювання, калібрування, випробувань при роботі в групі або окремо.

4. Мета навчальної дисципліни

Підготовка спеціалістів, що зрозуміли і засвоїли фундаментальні фізичні закономірності, які визначають властивості кристалічних і некристалічних твердих тіл і тонких плівок. Це дозволить майбутнім спеціалістам орієнтуватись та використовувати знання в різноманітних галузях техніки.

5. Завдання вивчення дисципліни

Пізнавальні – знати основні принципи фізики твердого тіла; дефекти твердих тіл, їх електро- і теплопровідність, резонансні явища, пружні властивості тощо; методи фізичних досліджень, зв'язки між окремими розділами науки і техніки; числові значення фізичних величин; основні фізичні моделі.

Практичні – сформувати практичні навички самостійної роботи з літературою для пошуку інформації про окремі визначення, поняття і терміни, пояснення їх застосування в практичних ситуаціях; розв'язання теоретичних і практичних задач; вміти проводити розрахунки характеристик твердотільних матеріалів та використовувати фізичні моделі для рішення практичних задач.

6. Зміст навчальної дисципліни

Змістовий модуль 1. Структурні властивості твердих тіл

Вступ. Основні етапи розвитку фізики твердого тіла. Зв'язок дисципліни з іншими розділами фізики. Останні новини за матеріалами ПерсТ та Internet з фізики кластерів, металевих наноструктур, нанотехнологій, вуглецевих нанотрубок, фулеренів. Одноелектронні явища в наноструктурах.

Тема 1. Елементи механіки Лагранжа. Узагальнені координати. Принцип Гамільтона. Рівняння Лагранжа. Закони збереження: енергії (однорідність часу), імпульсу (однорідність простору), моменту імпульсу (ізотропність простору).

Тема 2. Кристалічна структура, форма і симетрія твердих тіл. Кристалічна структура твердого тіла. Монокристал. Полікристал. Однорідність. Анізотропія. Дискретні і суцільні середовища. Індокси Міллера. Елементарна комірка, основні вектори трансляції. Гратки Браве. Базис. Обернена гратка та її властивості.

Тема 3. Дефекти в кристалах. Класифікація точкових дефектів. Термодинаміка дефектів. Міграція точкових дефектів, самодифузія. Визначення коефіцієнту самодифузії. Міграція домішкових атомів. Джерело та стік точкових дефектів. Визначення енергії утворення вакансії. Механізм Шоттки. Френкелівська пара. Кластери дефектів. Радіаційні дефекти. Каскад зіткнень, каналювання та фокусування зіткнень. Види дислокацій. Визначення вектора Бюргерса. Густина дислокацій та їх пружна енергія.

Змістовий модуль 2. Електронні властивості твердих тіл

Тема 4. Класифікація твердих тіл. Енергія зв'язку. Схема енергетичних зон електронів в твердих тілах. Характер заповнення енергетичних зон. Тунельний ефект. Діелектрики, напівпровідники, метали. Металеві, іонні, ковалентні та молекулярні кристали. Потенціали міжатомної взаємодії. Енергія зв'язку кристалічної ґратки. Сили Ван-дер-Ваальса. Іонні кристали. Ковалентний і металевий зв'язки.

Тема 5. Теплові властивості твердого тіла. Температурна залежність теплоємності твердих тіл (експеримент). Класична теорія теплоємності. Закон Дюлонга і Пті. Причини обмеженості класичної теорії. Квантова теорія теплоємності твердих тіл по Ейнштейну. Низькі і високі тем-

ператури. Недоліки попередніх теорій. Теорія теплоємності Дебая. Формула Дебая. Теплове розширення твердих тіл (експеримент). Теорія теплового розширення твердих тіл. Гармонічне та ангармонічне наближення.

Тема 6. Електронний газ у металах. Експериментальні дослідження електропровідності металів в залежності від температури. Закон Ома. Класична теорія електропровідності. Вільні електрони. Розсіювання електронів, час релаксації. Недоліки теорії. Розподіл Фермі – Дірака. Рівень Фермі електронів в металах. Квантова теорія електропровідності Зомерфельда.

Тема 7. Електронні стани в кристалах. Рішення рівняння Шредінгера для вільних електронів у твердому тілі. Наближення зонної теорії: наближення Борна – Оппенгеймера, одноелектронне наближення. Електрони і дірки. Електрон у періодичному потенційному полі атомів. Хвильовий вектор електрона, імпульс, швидкість. Хвильова функція Блоха та її фізичний зміст. Зони Бриллюена. Ефективна маса електронів і дірок у напівпровідниках. Донорні й акцепторні центри в напівпровідниках. Невироджений і вироджений напівпровідники. Рівень Фермі, концентрація електронів і дірок.

Тема 8. Контактні явища в твердих тілах. Контактні явища. Робота виходу. Форма поверхневого бар'єра. Припущення Шоттки (контакт метал – напівпровідник). ВАХ контакту. Застосування бар'єрів Шоттки. Електронно-дірковий перехід.

7. План вивчення навчальної дисципліни

№ тижня	Назва теми	Форми організації навчання	Кількість годин
1	Вступ. Огляд етапів розвитку хімічних нанотехнологій Елементи механіки Лагранжа Кристалева ґратка Оптичні властивості атомів ртуті і водню	Лекція	1
		Лекція	1
		Практичне	2
		Лабораторна	2
2	Елементи механіки Лагранжа Кристалічна структура, форма і симетрія твердих тіл	Лекція	1
		Лекція	1
		практичне	1
3	Кристалічна структура, форма і симетрія твердих тіл Оптичні властивості атомів ртуті і водню	Лекція	2
		Практичне	2
		Лабораторна	2
4	Кристалічна структура, форма і симетрія твердих тіл	Лекція	2
		практичне	2
5	Дефекти в кристалах	Лекція	1
		Практичне	2
		Лабораторна	2
6	Дефекти в кристалах	Лекція	1
		практичне	2
7	Дефекти в кристалах	Лекція	2
		Практичне	2
		Лабораторна	2
8	Дефекти в кристалах Теплові властивості твердого тіла	Лекція	2
		Практичне	2
9	Класифікація твердих тіл. Енергія зв'язку Теплові властивості твердого тіла	Лекція	2
		Практичне	2
		Лабораторна	2
10	Теплові властивості твердого тіла	Лекція	2
		практичне	2
11	Теплові властивості твердого тіла Фотоэффект Вивчення статистики Максвелла	Лекція	2
		Практичне	2
		Лабораторна	2
12	Електронний газ у металах Фотоэффект	Лекція	2
		практичне	2
13	Електронні стани в кристалах Фотоэффект	Лекція	2
		Практичне	2

	Магнітні властивості металів	Лабораторна	2
14	Електронні стани в кристалах Статистика електронів у твердому тілі	Лекція практичне	2 2
15	Контактні явища в твердих тілах Статистика електронів у твердому тілі	Лекція Практичне	2 2

8.Самостійна робота				
№ тиж-ня	Назва теми	Види СР	Кільк. годин	Контрольні заходи
1	Вступ. Огляд етапів розвитку нанотехнологій	Опрацювання літератури, підготовка до практичного заняття і виконання лабораторних робіт	5	Останні новини за матеріалами ПерсТ та Internet з фізики кластерів, металевих наноструктур, нанотехнологій, вуглецевих нанотрубок, фулеренів. Одноелектронні явища в наноструктурах. Усне опитування на практичному занятті та лабораторній роботі.
2	Елементи механіки Лагранжа. Кристалічна структура, форма і симетрія твердих тіл	Підготовка до практичного заняття і виконання лабораторних робіт	5	Усне опитування на практичному занятті
3	Кристалічна структура, форма і симетрія твердих тіл	Підготовка до практичного заняття і виконання лабораторних робіт	5	Усне опитування на практичному занятті та лабораторній роботі.
4	Кристалічна структура, форма і симетрія твердих тіл	Підготовка до практичного заняття і виконання лабораторних робіт	2	Усне опитування на практичному занятті
5	Дефекти в кристалах	Підготовка до практичного заняття і виконання лабораторних робіт	5	Усне опитування на практичному занятті та лабораторній роботі.
6	Дефекти в кристалах	Підготовка до практичного заняття, виконання лабораторної роботи	5	Усне опитування на практичному занятті
7	Дефекти в кристалах	Підготовка до практичного заняття і виконання лабораторних робіт	7	Усне опитування на практичному занятті та лабораторній роботі.
8	Дефекти в кристалах	Підготовка до практичного заняття і виконання лабораторних робіт	2	Усне опитування на практичному занятті
9	Класифікація твердих тіл. Енергія зв'язку	Підготовка до практичного заняття і виконання лабораторних робіт	2	Усне опитування на практичному занятті та лабораторній роботі.
10	Теплові властивості твердого тіла	Підготовка до практичного заняття і виконання лабораторних робіт	5	Усне опитування на практичному занятті
11	Теплові властивості твердого тіла	Підготовка до практичного заняття і виконання лабораторних робіт	5	Усне опитування на практичному занятті та лабораторній роботі.
12	Електронний газ у металах	Підготовка до практичного заняття і виконання лабораторних робіт	4	Усне опитування на практичному занятті
13	Електронні стани в кристалах	Підготовка до практичного заняття і виконання лабораторних робіт	4	Усне опитування на практичному занятті та лабораторній роботі.

14	Електронні стани в кристалах	Підготовка до практичного заняття	4	Усне опитування на практичному занятті
15	Контактні явища в твердих тілах	Підготовка до практичного заняття	3	Усне опитування на практичному занятті

Консультативна допомога студенту надається у таких формах:

- ❖ особиста зустріч викладача і студента за графіком консультацій <https://zp.edu.ua/kafedra-mikro-ta-nanoelektroniki> (кожний тиждень та за попередньою домовленістю);
- ❖ відеоконференція на платформі zoom (особиста або колективна за попередньою домовленістю).

9. Система та критерії оцінювання

Система оцінювання курсу.

Оцінка знань студентів здійснюється за кредитно-модульною системою. Навчальний семестр складається з двох змістовних модулів.

Для студентів денної форми навчання кожен змістовний модуль оцінюється за 100-бальною шкалою. Підсумкова оцінка визначається як середня двох контролів за перший та другий змістовні модулі. Студент має право додатково скласти залік за 100-бальною шкалою. В цьому випадку підсумкова оцінка визначається як середня вцілому двох змістовних модулів та заліку.

Для студентів заочної форми навчання навчальна дисципліна вцілому оцінюється за 100-бальною шкалою.

Оцінка за 100-бальною шкалою переводиться відповідно у національну шкалу («відмінно», «добре», «задовільно», «незадовільно») та шкалу європейської кредитно-трансфертної системи (ЄКТС –A, B, C, D, E, FX, F).

Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою	
		для екзамену, курсового проєкту (роботи), практики	для заліку
90 – 100	A	відмінно	зараховано
85 – 89	B	добре	
75 – 84	C		
70 – 74	D	задовільно	
60 – 69	E		
35 – 59	FX	незадовільно з можливістю повторного складання	не зараховано з можливістю повторного складання
1 – 34	F	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

Оцінки «зараховано» заслуговує студент, який виявив повне (певне) знання навчального матеріалу, успішно (частково) виконав передбачені програмою завдання, засвоїв рекомендовану основну літературу. Оцінка «зараховано» виставляється студентам, які засвідчили системні (не системні) знання понять та принципів навчальної дисципліни і здатні до їх самостійного поповнення та оновлення (використання) під час подальшої навчальної роботи і професійної діяльності. Одночасно вони допустили певні неточності, пропуски, помилки, які зумовили некоректність окремих результатів та висновків.

Оцінка «незараховано» виставляється студентів, який виявив значні прогалини в знаннях основного навчального матеріалу, допустив грубі помилки у виконанні передбачених програмою завдань, незнайомий з основною літературою, а також студентам, у яких відсутні знання базових положень навчальної дисципліни або їх недостатньо для продовжен-

ня навчання чи початку професійної діяльності.

Критерії оцінювання курсу.

Для студентів денної форми навчання:

1. Курсом передбачені *практичні заняття і лабораторні роботи*.

1.1. Враховуючи активність студента на практичних заняттях та результати аудиторних контрольних робіт студент може отримати в кожному модулі максимально 20 балів.

1.2. Якщо всі лабораторні роботи здані на оцінку „відмінно“, робіт студент може отримати в кожному модулі максимально 15 балів.

2. За індивідуальне завдання, яке включає в себе *розв’язок та захист набору задач за варіантами*, студент може отримати в кожному модулі максимально 10 балів, за умови демонстрації високого рівня знань і вміння їх застосовувати для аналізу існуючих проблем фізики твердого тіла.

3. По закінченню першого і другого напівсеместру проводиться рубіжні контролю у вигляді *аудиторної контрольної роботи*. Максимальна рейтингова оцінка цих видів контролю – 55 балів.

4. За підсумками першого та другого рубіжного модульного контролю студенту формується підсумкова оцінка знань, яка оголошується до початку екзаменаційної сесії. Під час екзаменаційної сесії студенти, які незгодні з оцінкою за підсумками рубіжного контролю або отримали незадовільну оцінку, з’являються на *екзамен*.

Для студентів заочної форми навчання захист контрольної роботи, розв’язування задач, лабораторні роботи, усний або письмовий іспит.

Розподіл балів, які отримують студенти

Поточне тестування та самостійна робота										Підсумкова
Змістовий модуль №1					Змістовий модуль № 2					
ПЗ	ЛР	ІДЗ	МК	Σ	ПЗ	ЛР	ІДЗ	МК	Σ	100
20	15	10	55	100	20	15	10	55	100	

ПЗ – практичні заняття; ЛР – лабораторні роботи; ІДЗ – індивідуальне домашнє завдання; МК – модульна контрольна робота.

10. Політика курсу

Складати всі проміжні та фінальні завдання самостійно без допомоги сторонніх осіб. Надавати для оцінювання лише результати власної роботи.

Не вдаватися до кроків, що можуть нечесно покращити ваші результати чи погіршити/покращити результати інших студентів.

Не публікувати відповіді на питання, що використовуються в рамках курсу для оцінювання знань студентів

Політика щодо відвідування аудиторних занять (особиста присутність студента).

Студентам рекомендується відвідувати заняття, оскільки на них викладається теоретичний матеріал та розвиваються навички, необхідні для виконання семестрового індивідуального завдання. Система оцінювання орієнтована на отримання балів за активність студента, а також виконання завдань, які здатні сформувати загальні та фахові компетентності. Самостійну роботу студент може виконати у системі дистанційного навчання (сервіс Moodle) з подальшим захистом. За об’єктивних причин (наприклад, лікарняні, стажування, мобільність, індивідуальний графік, інше) аудиторні види занять та завдань також можуть бути трансформовані в систему дистанційного навчання.

Політика щодо дедлайнів.

Студент зобов’язаний дотримуватись крайніх термінів (дата для аудиторних видів робіт або час в системі дистанційного навчання), до яких має бути виконано певне завдання. За наявності поважних причин (відповідно до інформації, яку надано деканатом) студент має право на складання індивідуального графіку вивчення окремих тем дисципліни.

Політика щодо оскарження результатів контрольних заходів.

Студенти мають можливість підняти будь-яке питання, яке стосується процедури контрольних заходів та очікувати, що воно буде розглянуто. Студенти мають право оскаржити результати контрольних заходів, але обов’язково аргументовано, пояснивши з яким критерієм не погоджуються.

Політика щодо дотримання прав та обов'язків студентів.

Права і обов'язки студентів відображено в Положенні про організацію освітнього процесу в Національному університеті «Запорізька політехніка»

<https://zp.edu.ua/normativna-baza-navchalnogo-procesu>

Політика щодо конфіденційності та захисту персональних даних.

Обмін персональними даними між викладачем і студентом в межах вивчення дисципліни, їх використання відбувається на основі закону України «Про захист персональних даних» (<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2297-17#Text>). Стаття 10, п.3.