

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: _____ Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка _____
(назва освітньої програми)

Спеціальність: _____ 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка _____
(найменування спеціальності)

Галузь знань: _____ 15 Автоматизація та приладобудування _____
(найменування галузі знань)

Ступінь вищої освіти: _____ Перший (бакалаврський) _____
(назва ступеня вищої освіти)

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

Протокол № 1 від 28.08.2020 р.

м. Запоріжжя 2020

1. Загальна інформація	
Назва дисципліни	<u>ППВ 02</u> Фізика твердого тіла Навчальна дисципліна вибіркового компонента циклу загальної підготовки
Рівень вищої освіти	Перший (бакалаврський) рівень
Викладач	Погосов В.В., професор, д.фіз.-матем.н., завідувач 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 225 годин кредитів – 7,5 кредитів ЄКТС, з яких 1 кредит ЄКТС – курсова робота, а 6,5 кредитів ЄКТС – на вивчення дисципліни розподіл годин (на вивчення дисципліни): 30 годин лекційних, 30 годин практичних занять, 14 годин лабораторних робіт 110 годин самостійна робота, 21 годин індивідуальна робота, вид контролю – екзамен
Консультації	Згідно з графіком консультацій https://zp.edu.ua/kafedra-mikro-ta-nanoelektroniki
2.Пререквізити і постреквізити навчальної дисципліни	
Пререквізити Дисципліни: «Фізика», «Фізична хімія», «Метрологія».	
Постреквізити Дисципліна: «Фізика діелектриків».	
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 отримає</p> <p>загальні компетентності:</p> <ul style="list-style-type: none"> - здатність застосовувати професійні знання й уміння у практичних ситуаціях; - здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово; - навички використання інформаційних і комунікаційних технологій; - здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями; <p>фахові компетентності:</p> <ul style="list-style-type: none"> - здатність проводити аналіз складових похибки за їх суттєвими ознаками, оперувати складовими похибки/невизначеності у відповідності з моделями вимірювання; - здатність до здійснення налагодження і дослідної перевірки окремих видів приладів в лабораторних умовах і на об'єктах. <p>Очікувані програмні результати навчання:</p> <ul style="list-style-type: none"> - вміти використовувати принципи і методи відтворення еталонних величин при побудові еталонних засобів вимірювальної техніки (стандартних зразків, еталонних 	

перетворювачів, еталонних засобів вимірювання;

- вміти встановлювати раціональну номенклатуру метрологічних характеристик засобів вимірювання для отримання результатів вимірювання з заданою точністю;
- знати та розуміти предметну область, її історію та місце в сталому розвитку техніки і технологій, у загальній системі знань про природу і суспільство;
- вільно володіти термінологічною базою спеціальності, розуміти науково-технічну документацію державної метрологічної системи України, міжнародні та міждержавні рекомендації та настанови за спеціальністю.

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 – сформувані 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. Індeksi Міллера. Елементарна комірка, основні вектори трансляції. Ґратки Браве. Базис. Обернена ґратка 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 Шотткі. 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 температури. 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	Лекція	1
		Лекція практичне	1 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	Лекція	2
		практичне	2
4	Кристалічна структура, форма і симетрія твердих тіл	Лекція	2
		практичне	2
5	Дефекти в кристалах	Лекція	1
		практичне	2
5	Дефекти в кристалах	Лекція	1
		практичне	2
6	Дефекти в кристалах	Лекція	2
		практичне	2
7	Дефекти в кристалах	Лекція	2
		практичне	2
8	Класифікація твердих тіл. Енергія зв'язку	Лекція	2
		практичне	2
9	Теплові властивості твердого тіла	Лекція	2
		практичне	2
10	Теплові властивості твердого тіла	Лекція	2
		практичне	2
11	Електронний газ у металах	Лекція	2
		практичне	2
12	Електронні стани в кристалах	Лекція	2
		практичне	2
13	Електронні стани в кристалах	Лекція	2
		практичне	2
14	Контактні явища в твердих тілах	Лекція	2
		практичне	2

8.Самостійна робота				
№ тижня	Назва теми	Види СР	Кільк. годин	Контрольні заходи

1	Вступ. Огляд етапів розвитку нанотехнологій	Опрацювання літератури, підготовка до практичного заняття і виконання лабораторних робіт	2	Останні новини за матеріалами ПерсТ та Internet з фізики кластерів, металевих наноструктур, нанотехнологій, вуглецевих нанотрубок, фулеренів. Одноелектронні явища в наноструктурах.
2	Елементи механіки Лагранжа Кристалічна структура, форма і симетрія твердих тіл	Підготовка до практичного заняття, виконання лабораторної роботи та курсового проекту	4	Усне опитування на практичному занятті та лабораторній роботі.
3	Кристалічна структура, форма і симетрія твердих тіл	Підготовка до практичного заняття, виконання лабораторної роботи та курсового проекту	8	Усне опитування на практичному занятті та лабораторній роботі.
4	Кристалічна структура, форма і симетрія твердих тіл	Підготовка до практичного заняття, виконання лабораторної роботи та курсового проекту	8	Усне опитування на практичному занятті та лабораторній роботі.
5	Дефекти в кристалах	Підготовка до практичного заняття, виконання лабораторної роботи та курсового проекту	8	Усне опитування на практичному занятті та лабораторній роботі.
5	Дефекти в кристалах	Підготовка до практичного заняття, виконання лабораторної роботи та курсового проекту	8	Усне опитування на практичному занятті та лабораторній роботі.
6	Дефекти в кристалах	Підготовка до практичного заняття, виконання лабораторної роботи та курсового проекту	8	Усне опитування на практичному занятті та лабораторній роботі.
7	Дефекти в кристалах	Підготовка до практичного заняття, виконання лабораторної роботи та курсового проекту	8	Усне опитування на практичному занятті та лабораторній роботі.
8	Класифікація твердих тіл. Енергія зв'язку	Підготовка до практичного заняття, виконання лабораторної роботи та курсового проекту	6	Усне опитування на практичному занятті та лабораторній роботі.
9	Теплові властивості твердого тіла	Підготовка до практичного заняття, виконання лабораторної роботи та курсового проекту	4	Усне опитування на практичному занятті та лабораторній роботі.
10	Теплові властивості твердого тіла	Підготовка до практичного заняття, виконання лабораторної роботи та курсового проекту	4	Усне опитування на практичному занятті та лабораторній роботі.
11	Електронний газ у металах	Підготовка до практичного заняття, виконання лабораторної роботи та курсового проекту	10	Усне опитування на практичному занятті та лабораторній роботі.
12	Електронні стани в кристалах	Підготовка до практичного заняття, виконання лабораторної роботи та курсового проекту	8	Усне опитування на практичному занятті та лабораторній роботі.

13	Електронні стани в кристалах	Підготовка до практичного заняття, виконання лабораторної роботи та курсового проекту	8	Усне опитування на практичному занятті та лабораторній роботі.
14	Контактні явища в твердих тілах	Підготовка до практичного заняття, виконання лабораторної роботи та курсового проекту	16	Усне опитування на практичному занятті та лабораторній роботі.

Консультативна допомога студенту надається у таких формах:

- особиста зустріч викладача і студента за графіком консультацій (кожний тиждень та за попередньою домовленістю);
- використання системи дистанційного навчання Moodle:
<https://moodle.zp.edu.ua/course/view.php?id=1662> ;
- 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 проекту (роботи), практики	для заліку
90 – 100	A	відмінно	зараховано
82-89	B	добре	
74-81	C		
64-73	D	задовільно	
60-63	E		
35-59	FX	незадовільно з можливістю повторного складання	не зараховано з можливістю повторного складання
0-34	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 студентові, 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 продовження навчання чи початку професійної діяльності.

Критерії оцінювання курсу.

Для студентів денної форми навчання кожен змістовний модуль оцінюється за 100-бальною шкалою.

Під час контролю по першому змістовному модулю враховуються наступні види робіт та відповідні критерії:

* повнота відповіді та активність роботи студента на практичному занятті оцінюється до 6 балів (6 практичних заняття по 6 балів = 36 балів);

* правильність виконання, оформлення та повнота відповіді при захисті індивідуального домашнього завдання студента оцінюється до 40 балів;

* тестування – до 24 балів.

Під час контролю по другому змістовному модулю враховуються наступні види робіт та відповідні критерії:

* повнота відповіді та активність роботи студента на практичному занятті оцінюється до 9 балів (9 практичних заняття по 4 балів = 36 балів);

* правильність виконання, оформлення та повнота відповіді при захисті індивідуального домашнього завдання студента оцінюється до 40 балів;

* тестування – до 24 балів.

Підсумковий контроль визначається як середня двох контролів за перший та другий змістовні модулі.

Якщо студент додатково складає залік, то оцінювання на заліку враховує наступні критерії:

* студент отримує два питання, які потребують змістовної відповіді, кожне з них оцінюється від 0 до 50 балів;

* 50-40 балів отримують студенти, які повністю розкрили сутність поняття, дали його чітке визначення або проаналізували і зробили висновок з конкретного теоретичного положення.

* 39-29 балів отримують студенти, які правильно, але не повністю дали визначення поняття або поверхово проаналізували і зробили висновок з теоретичного положення.

* 28-18 балів отримують студенти, які правильно, але лише частково визначили те чи інше поняття або частково проаналізували і зробили висновок з теоретичного положення.

* 17-0 балів отримують студенти, які частково і поверхово визначили те чи інше поняття або сформулювали висновок з теоретичного положення, допустивши неточності та помилки.

В цьому випадку підсумкова оцінка визначається як середня в цілому двох змістовних модулів та заліку.

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

Під час підсумкового контролю (заліку) враховуються наступні види робіт та відповідні критерії:

* правильність виконання, оформлення та повнота відповіді при захисті контрольної роботи студента оцінюється до 76 балів;

* тестування – до 24 балів.

10. Політика курсу

Політика щодо академічної доброчесності:

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 сформувавши загальні та фахові компетентності. Самостійну роботу студент може виконати у системі дистанційного навчання (<https://moodle.zp.edu.ua/course/view.php?id=832>) 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 (сервіс moodle).

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 у п.7.5 Положення про організацію освітнього процесу в Національному університеті «Запорізька політехніка» (https://zp.edu.ua/uploads/dept_nm/Polozhennia_pro_organizatsiyu_osvitnoho_protseesu.pdf).

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.