

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ І.І.МЕЧНИКОВА
Кафедра фізики та астрономії

“ЗАТВЕРДЖУЮ”
Проректор з науково-педагогічної роботи
Олександр ЗАПОРОЖЧЕНКО
“ _____ ” _____ 2022 р.



РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ВБ 6.2 «Фізика твердого тіла»

Рівень вищої освіти	перший (бакалаврський)
Галузь знань	10 – Природничі науки
Спеціальність	104 - Фізика та астрономія
Освітньо-професійна програма	Фізика та астрономія

ОНУ
Одеса
2022

Робоча програма навчальної дисципліни «Фізика твердого тіла». – Одеса:
ОНУ, 2022. – 18 с.

Розробник: Маслєєва Наталя Володимирівна, кандидат фізико-математичних
наук, доцент кафедри фізики та астрономії

Робоча програма затверджена на засіданні кафедри фізики та астрономії
факультету математики, фізики та інформаційних технологій

Протокол № 1 від «5» вересня 2022 р.

Завідувач кафедри _____ Володимир ГОЦУЛЬСЬКИЙ

Погоджено із гарантом ОПІ «Фізика та астрономія» _____ Юрій НІЦУК

Схвалено навчально-методичною комісією (НМК) факультету математики,
фізики та інформаційних технологій

Протокол № 1 від «6» вересня 2022 р.

Голова НМК _____ Наталя МАСЛЄЄВА

Переглянуто та затверджено на засіданні кафедри фізики та астрономії

Протокол № 1 від «29» _____ 02 _____ 2024 р.

Завідувач кафедри _____ (Гончаренко В.І.)

Переглянуто та затверджено на засіданні кафедри фізики та астрономії

Протокол № _____ від « _____ » _____ 20__ р.

Завідувач кафедри _____ (_____)

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, Спеціальність, спеціалізація, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни
		Очна (денна) форма навчання
Загальна кількість кредитів – 4, годин – 120, змістовних модулів - 2	Галузь знань 10 – Природничі науки Спеціальність: 104 – Фізика та астрономія Рівень вищої освіти: <u>Перший (освітньо-професійний)</u>	Вибіркова дисципліна
		Рік підготовки:
		3-й
		Семестр
		6-й
		Лекції
		40 год.
		Практичні, семінарські
		0 год.
		Лабораторні
		20 год.
		Самостійна робота
		60 год.
Форма підсумкового контролю: залік		

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Метою навчальної дисципліни є:

- підготовка фахівців, які здатні розв'язувати спеціалізовані складні задачі і практичні проблеми, що пов'язані зі створенням та дослідженнями твердотільних матеріалів, вивченням фізичних процесів і явищ у них та їх технічними застосуваннями;

- підготовка фахівців, здатних розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми з фізики твердого тіла у професійній діяльності або у процесі подальшого навчання, що характеризуються комплексністю і невизначеністю умов та передбачають застосування певних теорій і методів фізики твердого тіла.

Завдання:

- Ознайомити здобувачів першого рівня вищої освіти зі структурою кристалічних твердих тіл, видами дефектів у твердих тілах, з особливостями зонної структури твердих тіл., рентгенівськими методами їх дослідження, що дозволить студентам успішно працювати в усіх галузях фізики твердого тіла та проводити дослідження з використанням сучасного високотехнологічного обладнання.
- Сформувати в здобувачів першого рівня вищої освіти уміння проводити експериментальні дослідження з використанням рентгенівських апаратів, розв'язувати теоретичні задачі в області фізики твердого тіла.

Процес вивчення дисципліни спрямований на формування елементів наступних **компетентностей**.

Інтегральна компетентність:

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 комплексністю та невизначеністю умов.

Загальні компетентності:

К2. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

К4. Здатність бути критичним і самокритичним.

К5. Здатність приймати обґрунтовані рішення.

Спеціальні (фахові) компетентності:

К16. Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної фізики та астрономії.

К18. Здатність оцінювати порядок величин у різних дослідженнях, так само як точності та значимості результатів.

К19. Здатність працювати із науковим обладнанням та вимірювальними приладами, обробляти та аналізувати результати досліджень.

К24. Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації.

К25. Здатність самостійно навчатися і опановувати нові знання з фізики, астрономії та суміжних галузей.

К26. Розвинуте відчуття особистої відповідальності за достовірність результатів досліджень та дотримання принципів академічної доброчесності разом з професійною гнучкістю.

К27. Усвідомлення професійних етичних аспектів фізичних та астрономічних досліджень.

К28. Орієнтація на найвищі наукові стандарти – обізнаність щодо фундаментальних відкриттів та теорій, які суттєво вплинули на розвиток фізики, астрономії та інших природничих наук.

В результаті вивчення навчальної дисципліни здобувач вищої освіти повинен знати:

- елементи макросиметрії кристалів;
- елементи мікросиметрії кристалів;
- види ґраток Браве;
- рентгенівські методи дослідження твердих тіл;
- класифікацію твердих тіл за типами зв'язків;
- види дефектів у твердих тілах;

- спектр коливань атомів тривимірної ґратки;
- види фононів;
- механізми теплопровідності металів і діелектриків;
- класифікацію твердих тіл за електропровідністю;
- зонну структуру металів, напівпровідників і діелектриків;
- зонну структуру напівпровідника з домішковими рівнями.

ВМІТИ:

- визначити макро – та мікросиметрію кристалу;
- визначити ґратку Браве кристалу;
- за допомогою рентгенівських методів розрахувати параметри кристалічної ґратки;
- записати залежність коефіцієнту теплопровідності від довжини вільного пробігу фонона;
- схематично зобразити зонну структуру металів і напівпровідників;
- зобразити зонну структуру напівпровідників з домішками донорного і акцепторного типів;
- записати рівняння Шрединґера для кристала.

Що забезпечують наступні **програмні результати навчання:**

ПРО1. Знати, розуміти та вміти застосовувати 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.

ПР03. Знати і розуміти експериментальні основи фізики: аналізувати, описувати, тлумачити та пояснювати основні експериментальні підтвердження існуючих фізичних теорій.

ПР08. Мати базові навички самостійного навчання: вміти відшукувати потрібну інформацію в друкованих та електронних джерелах, аналізувати, систематизувати, розуміти, тлумачити та використовувати її для вирішення наукових і прикладних завдань.

ПР09. Мати базові навички проведення теоретичних та/або експериментальних наукових досліджень з окремих спеціальних розділів фізики або астрономії, що виконуються індивідуально (автономно) та/або у складі наукової групи.

ПР22. Розуміти значення фізичних досліджень для забезпечення сталого розвитку суспільства.

ПР23. Розуміти історію та закономірності розвитку фізики та астрономії.

3.Зміст навчальної дисципліни

ЗМІСТОВНИЙ МОДУЛЬ 1.

СТРУКТУРА КРИСТАЛІВ ТА МЕТОДИ ЇЇ ДОСЛІДЖЕННЯ.

Тема 1. Структурна кристалографія. Кристалічні та аморфні тверді тіла. Макросиметрія. Класи симетрії. Мікросиметрія. Гратка Браве. Просторові групи. Рівняння Лауе.

Тема 2. Методи визначення структури кристалів. Дифракція рентгенівських промінів на кристалах з примітивною та складною елементарними комірками. Рентгеноструктурні методи дослідження кристалів. Обернена гратка. Загальне інтерференційне рівняння. Сфера Евальда. Зони Брилюена. Комірки Вігнера – Зейтца.

Тема 3. Основні типи зв'язків у твердих тілах. Молекулярні кристали. Сили Ван – дер - Ваальса. Розрахунок енергії зв'язку для молекулярного кристалу. Іонні кристали. Стала Маделунга. Розрахунок енергії зв'язку для

іонного кристалу. Ковалентні кристали. Метод молекулярних орбіт. Гібридизація s- і p-електронів у структурі алмаза. Метали та їх властивості.

Тема 4. Дефекти в твердих тілах. Загальна класифікація дефектів у твердих тілах. Точкові дефекти. Дефекти Шотки. Дефекти Френкеля. Розрахунки рівноважної концентрації дефектів Шотки та дефектів Френкеля. Види дислокацій. Контур та вектор Бюргерса. Механізми руху дислокацій в кристалах. Розмноження дислокацій. Джерело Франка – Ріда. Вплив дислокацій на механічні та електричні властивості твердих тіл. Двовимірні дефекти. Об'ємні дефекти.

ЗМІСТОВНИЙ МОДУЛЬ 2.

ОСНОВИ ЗОННОЇ ТЕОРІЇ ТА ДИНАМІКА КРИСТАЛІЧНОЇ ГРАТКИ

Тема 5. Коливання атомів кристалічної ґратки. Гармонічне наближення. Коливання атомів в одномірному ланцюжку. Спектр коливань. Коливання двоатомного лінійного ланцюжка. Спектр коливання атомів тривимірного кристалу. Акустичні та оптичні фонони.

Тема 6. Теплові властивості твердих тіл. Теплоємність твердих тіл. Теорія теплоємності Ейнштейна. Теорія теплоємності Дебая. Теплове розширення твердих тіл. Теплопровідність твердих тіл.

Тема 7. Основи зонної теорії твердих тіл. Класифікація твердих тіл за величиною електропровідності. Діелектрики, провідники, напівпровідники. Рівняння Шредингера для твердого тіла. Хвильові функції електрона в кристалі. Зони Брилюена. Енергетичний спектр електронів у кристалі. Рух електронів у кристалі. Ефективна маса електрону. Зонна структура твердих тіл. Класифікація напівпровідників.

4. Структура навчальної дисципліни «Фізика твердого тіла»

Назва тем	Кількість годин				
	Очна денна форма				
	Усього	у тому числі			
		Лек.	Пр.	Лаб.	СР
1	2	3	4	5	6
Змістовний модуль 1.					
Структура кристалів та методи її дослідження.					
Тема 1. Структурна кристалографія.	24	8		12	4
Тема 2. Методи визначення структури кристалів.	14	6		8	
Тема 3. Основні типи зв'язків у твердих тілах.	10	6			4
Тема 4. Дефекти в твердих тілах.	22	4			18
Змістовний модуль 2.					
Основи зонної теорії та динаміка кристалічної ґратки					
Тема 5. Коливання атомів кристалічної ґратки.	6	6			
Тема 6. Теплові властивості твердих тіл.	18	4			14
Тема 7. Основи зонної теорії твердих тіл.	24	6			18
Усього годин	120	40		20	60

5. Теми семінарських занять

Семінарські заняття не передбачені навчальним планом.

6. Теми практичних занять

Практичні заняття не передбачені навчальним планом.

4. Теми лабораторних робіт

№	Назва теми	Кількість годин
1	Елементи структурної кристалографії. Розрахунок рентгенограми Дебая – Шеррера кубічного кристала	4
2	Отримання і аналіз дифрактограми полікристала. Визначення природи однофазної кубічної речовини методом Дебая-Шеррера	4
3	Вивчення макросиметрії кристалів. Визначення точкової групи моделі кристала	4
4	Вивчення макросиметрії кристала. Визначення дифракційного класу методом Лауе	4
5	Визначення орієнтації і ступеню досконалості окисленої монокристалічної пластини	4

8. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Кінцеві групи симетрії.	2
2	Симетрія та фізичні властивості кристалів.	2
3	Радіаційні дефекти.	2
4	«Миготливі» вакансії	2
5	Амфотерні домішки.	2
6	Напруження, необхідні для утворення дислокацій в ідеальному кристалі.	4
7	Взаємодія дислокацій між собою та з точковими	2

	дефектами.	
8	Джерела розмноження дислокацій.	2
9	Реконструкція поверхні у твердих тілах.	4
10	Хімічний зв'язок та зонна структура кристалів.	4
11	Теплопровідність твердих тіл.	4
12	Дифузія в твердих тілах.	4
13	Ґраткова теплоємність.	4
14	Одноелектронне наближення.	2
15	Властивості хвильового вектора у кристалі.	2
16	Поверхня Фермі.	2
17	Спінові хвилі.	2
18	Доменна структура феромагнетиків.	2
19	Процеси перемагнічування.	2
20	Ефект Холла.	2
	Індивідуальне науково-дослідне завдання (ІНДЗ): Доповідь та мультимедійна презентація за темами: 1. Теплопровідність металів. 2. Експериментальні методи знаходження ефективної маси носіїв заряду. 3. Локалізовані стани, пов'язані з поверхнею. 4. Класифікація магнетиків.	8
	Разом	60

9. Методи навчання

При вивченні навчальної дисципліни використовують такі форми роботи – лекція, лабораторна робота, самостійна робота.

Під час викладання дисципліни використовуються методи:

- словесні: лекції, пояснення, бесіди, дискусії;
- наочні: мультимедійні презентації;
- самостійна робота.

Головним словесним методом навчання є лекція. Під час проведення лекцій використовуються наступні методи навчання: пояснювально-ілюстративний метод або інформаційно-рецептивний; репродуктивний метод (репродукція - відтворення); метод проблемного викладу; частково-пошуковий, або евристичний метод.

При проведенні лабораторних занять використовуються наступні методи навчання: частково-пошуковий, або евристичний метод, і дослідницький. При захисті лабораторних робіт та індивідуальних завдань використовується дискусійний метод.

Під час самостійної роботи використовується дослідницький метод. Самостійна робота передбачає роботу з літературними джерелами (підручниками, навчальними посібниками, періодичною літературою, електронними джерелами), а також консультації з викладачем. У подальшому за темою ІНДЗ студент робить презентацію та доповідь.

10. Форми контролю та методи оцінювання

1. Поточний контроль – усне опитування на лекціях; перевірка студентських рефератів, захист індивідуального навчально-дослідного завдання, звіт про виконання лабораторних робіт.
2. Періодичний контроль - 2 модульні контрольні роботи;
3. Підсумковий семестровий контроль: залік (6 семестр).

Критерії оцінювання поточного та підсумкового контролю.

Поточний контроль здійснюється шляхом усного опитування попереднього матеріалу на початку кожної лекції, написання та захисту реферату, виконаного здобувачем навчально-дослідного завдання.

Активність студентів на лекціях – усне опитування, оцінюється до 5 балів. Написання реферату та його захист, виконання навчально-дослідницького завдання оцінюються до 15 балів. Результати індивідуального завдання представляються у вигляді доповіді тривалістю до

10 хвилин, що супроводжується презентацією (10 - 15 слайдів). Критеріями оцінювання є: повнота представленого матеріалу, якість доповіді, презентації та відповідей на запитання викладача та однокурсників.

Максимальна загальна оцінка за індивідуальну самостійну роботу та опитування складає 20 балів.

Періодичний (модульний) контроль здійснюється за допомогою письмової модульної контрольної роботи та тесту, які оцінюються максимально в 20 балів за кожний компонент.

Модульна контрольна робота складається з 2 питань, кожне з яких оцінюється за 10 бальною шкалою.

Критерії оцінювання кожного питання з контрольної роботи:

10-9 балів – здобувач правильно і точно відповів на питання, обґрунтовано і логічно виклав матеріал, володіє термінами з екології, робить висновки, виявляє причинно-наслідкові зв'язки;

8-7 балів – здобувач достатньо повно відповів на питання, знає матеріал, володіє термінологією, оцінює причинно-наслідкові зв'язки, але при викладанні не вистачає певної глибини та аргументації, допускає незначні помилки;

6-5 балів – здобувач не в повному обсязі відповів на запитання, відповідь розпливчата, нечітка, допускає помилки;

4-0 балів – здобувач, виявив низький рівень володіння матеріалом, практично не відповів на питання, допустив грубі помилки. Самий низький бал ставиться за відсутність відповіді.

Критерії оцінювання виконання лабораторних робіт

Студент повинен виконати всі лабораторні роботи. За виконання розрахунків та оформлення роботи згідно вимог методичних вказівок до лабораторних робіт нараховується 30 балів за кожну роботу. При захисті роботи, за кожну правильну відповідь на запитання додається 2 бали. За неповну відповідь, відповідь, що містить несуттєві помилки додається 1 бал.

За неправильну відповідь, або її відсутність бали не додаються. Максимальна кількість балів за лабораторну роботу не повинна перевищувати 40 балів. При виставленні підсумкової оцінки береться середня арифметична оцінка за всіма лабораторними роботами.

Кінцева оцінка виставляється за сумою балів поточного та підсумкового контролю за шкалою, що наведена в таблиці 12.

11. Питання для підготовки до поточного та підсумкового контролю.

1. Кристалічні тверді тіла.
2. Аморфні тверді тіла.
3. Елементи макросиметрії.
4. Класи симетрії.
5. Елементи мікросиметрії.
6. Гратки Браве.
7. Просторові групи.
8. Рівняння Вульфа – Бреґга.
9. Методи визначення структури кристалів.
10. Рівняння Лауе.
11. Лауевські класи симетрії.
12. Рентгенівські методи визначення симетрії кристалів.
13. Порівняння дифракції рентгенівських промінів на кристалах з примітивною та складною елементарними комірками.
14. Обернена ґратка.
15. Загальне інтерференційне рівняння.
16. Сфера Евальда.
17. Комірки Вігнера – Зейтца.
18. Зони Брилюена.
19. Типи зв'язків у кристалах.
20. Енергія зв'язку. Вплив коливань атомів на енергію зв'язку..
21. Молекулярні кристали та їх характеристики.

22. Іонні кристали та їх характеристики.
23. Ковалентні кристали та їх характеристики.
24. Застосування методу молекулярних орбіт для алмазу.
Гібридизація s - та p - електронів у структурі алмазу.
25. Метали та їх властивості. Метод Вігнера-Зейтца.
26. Класифікація дефектів у твердих тілах.
27. Теплові точкові дефекти.
28. Рівноважна концентрація дефектів Френкеля.
29. Рівноважна концентрація дефектів Шотки..
30. Теплові дефекти у бінарних кристалах.
31. Донорні та акцепторні домішки у напівпровідниках.
32. Лінійні та гвинтові дислокації.
33. Контур Бюргерса. Фізичний зміст вектора Бюргерса.
34. Рух дислокацій.
35. Розмноження дислокацій. Модель Франка – Ріда.
36. Взаємодія дислокацій з точковими дефектами.
37. Теплові коливання атомів кристалічної ґратки.
38. Спектр коливання лінійного ланцюга з однакових атомів.
39. Спектр коливання одновимірної ґратки з базісом.
40. Акустичні коливання.
41. Оптичні коливання.
42. Спектр коливання тривимірної ґратки.
43. Види фононів.
44. Теплопровідність металів.
45. Теплопровідність діелектриків.
46. Рівняння Шредингера для кристала.
47. Утворення енергетичних зон у кристалі.
48. Хвильова функція електрона в кристалі.
49. Рух електронів у кристалі під дією зовнішньої сили. Квазіімпульс електрона.

50. Ефективна маса електронів у кристалі.
51. Зв'язок між зонною структурою кристала та його електричними властивостями.
52. Дірки.
53. Донори. Зонна схема напівпровідника з донорними рівнями.
54. Акцептори. Зонна схема напівпровідника з акцепторними рівнями.

12. Розподіл балів, які отримують здобувачі

Поточний та періодичний контроль				Сума балів
Змістовний модуль 1. Теми 1-4	Змістовний модуль 2. Теми 5-7	Індивідуальне навчально – дослідне завдання, опитування	Виконання і захист лабораторних робіт	
Контрольна робота	Контрольна робота	20	40	100
20	20			

Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ЄКТС	Оцінка за національною шкалою	
		для екзамену, курсового проекту (роботу), практики	для заліку
90 – 100	A	відмінно	зараховано
85-89	B	добре	
75-84	C		

70-74	D	задовільно	не зараховано
60-69	E		
35-59	FX	незадовільн	
1-34	F	о	

13. Навчально-методичне забезпечення

Навчально-методичне забезпечення: робоча програма навчальної дисципліни; силабус, конспекти лекцій; презентації; методичні вказівки до виконання лабораторних робіт, первинний інструктаж з техніки безпеки, порядок виконання лабораторної роботи, інструкції до приладів:

14. Рекомендована література

Основна

1. Болеста І.М. Фізика твердого тіла. – Львів: Видавн. центр ЛНУ імені Івана Франка. – 2003. – 480 с.
2. Маслєєва Н.В. Фізика твердого тіла. Частина 1. Структурна кристалографія. Навчальний посібник. – Одеса: Фенікс. – 2016. – 118 с.
3. Поплавко Ю. М. Фізика твердого тіла : підручник. У 2-х томах. / Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка». – 2017. – Том 1: Структура, квазічастинки, метали, магнетики. – 415 с. – https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/22938/1/PoplavkoYu.M._Fizyka-tverdoho-tila_T.1.pdf
4. Євтушенко Н. Г., Стукалов С. А. Рентгенографія кристалів. Загальний практикум з фізики твердого тіла. Навчальний посібник. – Одеса: ОНУ. – 2013. – 198 с.

2. Додаткова література

1. Третяк О.В., Лозовський В.З. Основи фізики напівпровідників. Т.1, 2. / К.: Видавничо – поліграфічний центр «Київський університет» . – 2007.
2. Фізика и хімія поверхні. Т.1, 2, 3. / Під ред. Картеля Н.Т. і Лобанова В.В. – К.: Інститут хімії поверхні НАН України; ТОВ «НПП «Інтерсервіс» . –

2018.

3. Основи кристалографії: навчальний посібник/ Укл.: І.М. Фодчук, О.О. Ткач. – Чернівці: ЧНУ. – 2007 – 109 с.
4. Фізика процесів у напівпровідниках та елементах електроніки : курс лекцій : [навчальний посібник] / [Д. М. Фреїк, В. М. Чобанюк, З. Ю. Готра та ін. ; за заг. ред. заслуженого діяча науки і техніки України, доктора хімічних наук, проф. Д. М. Фреїка]. – Івано-Франківськ : Видавництво Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника. – 2010. – 263 с. ISBN 978-966

15. Електронні інформаційні ресурси

1. <http://dspace.onu.edu.ua/>
2. phys.onu.edu.ua
3. https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/22938/1/PoplavkoYu.M._Fizyka-tverdoho-tila_T.1.pdf
4. <https://kfhtt.pnu.edu.ua/wp-content/uploads/sites/48/2019/09/book-1.pdf>