

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР
«ХАРКІВСЬКИЙ ФІЗИКО-ТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Генеральний директор


« 30 » // 2022 р.



РОБОЧА ПРОГРАМА
навчальної дисципліни
Фізика твердого тіла
Назва навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Доктор філософії
галузь знань	10 Природничі науки
спеціальність	104 фізика та астрономія
освітня програма	освітньо-професійна програма «Фізика та астрономія»
спеціалізація	
вид дисципліни	за вибором аспіранта
Інститут	Інститут фізики твердого тіла, матеріалознавства і технологій ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут»

Програму рекомендовано до затвердження
Науково-технічною радою ННЦ ХФТІ

Від “29” 11 2022 року, протокол № 6

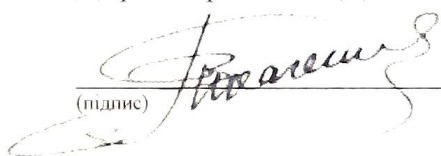
РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:

д.ф.-м.н., проф. Іван МАРЧЕНКО

Програму схвалено на засіданні Науково-технічної ради НВК ВДЕРТ
ННЦ ХФТІ

від “23” 11 2022 року, протокол № 11

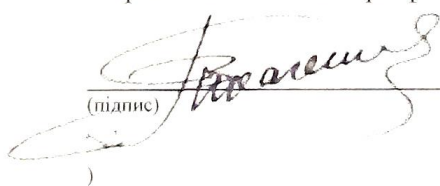
Директор НВК ВДЕРТ


(підпис)

Віктор ТКАЧЕНКО
(прізвище та ініціали)

Програму погоджено з гарантом освітньо-професійної програми
«Фізика та астрономія»
назва освітньої програми

Гарант освітньо-професійної програми «Фізика та астрономія»


(підпис)

Віктор ТКАЧЕНКО
(прізвище та ініціали)

Вступ

Дисципліна «Фізика твердого тіла» є частиною професійної підготовки аспірантів за вибором ННЦ ХФТІ за напрямом 10 Природничі науки, за спеціальністю – 104 фізика і астрономія, яка викладається протягом другого року навчання.

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Метою викладання навчальної дисципліни є засвоєння аспірантами основ фізики твердого тіла, оволодіння методами теоретичного опису процесів у твердих тілах.

1.2. Основними завданнями вивчення дисципліни є забезпечити формування у аспірантів знань механічних, теплових, оптичних, електричних та магнітних властивостей матеріалів, їх залежності від структури; забезпечити отримання навиків застосування науково-технічних знань на практиці; підготувати фахівців з сучасної фізики, спроможних розв'язувати різноманітні задачі, пов'язані з фізикою твердого тіла.

1.3. Кількість кредитів - 4

1.4. Загальна кількість годин – 120

Основними завданнями вивчення дисципліни «Фізика твердого тіла» є

(1) оволодіння знаннями, необхідними для проведення експериментальних та теоретичних робіт у галузі фізики твердого тіла;

(2) засвоєння основних характеристик та методів опису електричних, магнітних, надпровідних процесів у твердих тілах;

(3) опанування методів опису процесів у кристалах, квазікристалах та аморфних тілах.

1.2.1. Формування інтегральних компетентностей

Здатність продукувати нові ідеї, розв'язувати комплексні проблеми науково-дослідницької та інноваційної діяльності у сфері фізики, застосовувати методологію науково-дослідницької та педагогічної діяльності, а також проводити власне наукове дослідження, результати якого мають наукову новизну, теоретичне та практичне значення.

1.2.2 Формування наступних загальних компетентностей

ЗК01. Здатність генерувати нові ідеї (креативність).

ЗК03. Здатність розв'язувати комплексні наукові проблеми на основі системного наукового світогляду та загального культурного кругозору із дотриманням професійної етики та академічної доброчесності.

1.2.3. Формування наступних спеціальних (фахових) компетентностей

СК01. Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми дослідницького характеру в сфері фізики, інтегрувати знання з різних галузей, оцінювати та забезпечувати якість виконуваних досліджень.

СК02. Здатність відстежувати тенденції розвитку фізики, їх прикладних застосувань, критично переосмислювати наявні знання та методи фундаментальних та прикладних наукових досліджень.

СК06. Здатність застосовувати сучасні методи, методики, технології, інструменти та обладнання для проведення прикладних та фундаментальних наукових досліджень у галузі фізики.

1.3. Кількість кредитів – 4.

1.4. Загальна кількість годин – 120.

1.5. Характеристика навчальної дисципліни:

Опис навчальної дисципліни «Фізика твердого тіла»

Галузь знань, напрям підготовки, спеціальність, освітньо-кваліфікаційний рівень	
Галузь знань	10 – Природничі науки
напрямок підготовки	
спеціальність	104 – фізика та астрономія
освітньо-кваліфікаційний рівень	Доктор філософії
Мова навчання	Українська
Характеристика навчальної дисципліни	
Вид	За вибором аспіранта
Загальна кількість годин	120
Кількість кредитів ECTS	4
Кількість змістових модулів	2
Форма контролю	екзамен
Показники навчальної дисципліни	
Рік підготовки	II
Лекційні заняття	32
Практичні заняття	16
Самостійна робота	70
Консультації	2

1.5. Характеристика навчальної дисципліни	
Нормативна / за вибором	
Денна форма навчання	Заочна (дистанційна) форма навчання
Рік підготовки	
2-й	-й
Лекції	
32 год.	год.
Практичні, семінарські заняття	
16 год.	год.
Лабораторні заняття	
год.	год.
Самостійна робота	
70 год.	год.
Індивідуальні завдання	
год.	

1.5. Заплановані результати навчання:

Аспіранти мають досягти таких результатів навчання:

Знати: сучасний стан фізики твердого тіла та матеріалознавства, електрофізичні, магнітні, оптичні та теплофізичні властивості матеріалів, залежність фізичних властивостей матеріалів від їх структури, експериментальні методи вивчення властивостей матеріалів, методи аналізу дефектної структури матеріалів.

Вміти: застосовувати отримані знання на практиці, орієнтуватися в порівняльному аналізі застосування матеріалів у різних умовах експлуатації.

2. Тематичний план навчальної дисципліни

Тема 1. Структура твердого тіла та види кристалічних твердих тіл.

Зміст.

Аморфні тверді тіла, кристали, квазікристали. Трансляційна інваріантність у кристалах. Просторові ґратки. Найпростіші кристалеві ґратки. Індеси Міллера та Вейса. Іонні, ковалентні, молекулярні, металеві кристали. Їх характерні фізичні властивості.

Тема 2. Експериментальні методи вивчення структури кристалів.

Зміст.

Рентгенівська дифрактометрія, дифракція електронів, метод каналювання іонів та зворотнього розсіювання, атомна силова та тунельна мікроскопія, . Зворотня решітка. Структурний фактор. Закон Бреґа. Зона Брілюєна.

Тема 3. Деформація матеріалів та їх пружні властивості.

Зміст.

Закон Гука, модуль Юнга, модуль здвигу. Тензори деформації та напруження в кристалах. Узагальнений закон Гука для кристалів. Деформації Фукса.

Тема 4. Пружні коливання кристалічної ґратки та хвилі.

Зміст.

Хвилі в 1-мірній решітці. Дисперсійне рівняння. Акустичні та оптичні коливання. Коливання двухатомної решітки. Щільність фононних станів. Коливання в кристалічній решітці.

Тема 5. Дефекти кристалічної будови та їх вплив на властивості матеріалів.

Зміст.

Дефекти в кристалах: крапкові, лінійні, поверхневі та об'ємні дефекти. Вплив крапкових дефектів на фізичні властивості матеріалів.

Тема 6. *Дислокації та дисклінації. Їх вплив на пластичні властивості матеріалів.*

Зміст.

Атомна будова дислокацій та дисклінацій.

Типи дислокацій: гвинтові, краєві, змішані. Пружні поля дислокацій. Взаємодія з крапковими дефектами. Механізми пластичної деформації. Часткові дислокації.

Тема 7. *Плоскі та об'ємні дефекти.*

Маловуглові та великовуглові границі. Двійникові границі. Дефекти пакування. Закон Холла-Петча. Пори та включення фаз у матеріалах.

Тема 8. *Диффузія у твердих тілах.*

Механізми дифузії. Дифузія крапкових дефектів. Дифузія вздовж дислокацій та меж зерен та блоків.

Тема 9. *Теплоємність твердих тіл.*

Зміст.

Моделі Ейнштейна та Дебая. Теплове розширення. Власні коливання. Фонони.

Ангармонічні ефекти. Фонона теплоємність та електронна теплоємність.

Тема 10. *Теплопровідність твердих тіл.*

Зміст.

Теплопровідність у кристалах. Розсіяння фононів на дефектах кристалічної ґратки.

Електронна та фононна теплопровідності.

Тема 11. *Електрони у металах. Їх вплив на теплоємність на теплопровідність.*

Зміст.

Теорія майже вільних електронів у металах.. Статистика Фермі-Дірака. Електронний газ у металах. Теорія теплопровідності у металах.

Тема 12. *Зонна теорія твердих тіл.*

Зміст.

Дозволені та заборонені енергетичні зони. Електричні властивості та зонна структура металів, напівпровідників та ізоляторів.

Тема 13. *Електричні властивості діелектриків та напівпровідників.*

Зміст.

Зонна структура діелектриків та власних напівпровідників. Прямі та непрямі міжзонні переходи. Особливості зонної структури домішкових напівпровідників. Фотопровідність.

Тема 14. *Термоелектричні явища у твердих тілах.*

Зміст.

Ефект Зеебека, ефект Пельтьє, ефект Томсона.

Тема 15. *Магнітні властивості твердих тіл.*

Зміст.

Діамагнетизм. Моменти магнітних диполів. Парамагнетики, феро- та антиферомагнетики. Ключові магнітні характеристики матеріалів.

Тема 16. *Надпровідні властивості твердих тіл.*

Зміст.

Надпровідність, ефект Мейснера, теорія БКШ, надпровідники першого та другого роду.

3. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин											
	денна форма						заочна форма					
	усього	у тому числі					усього	у тому числі				
		л	п	лаб.	інд.	с. р.		л	п	лаб.	інд.	с. р.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Розділ 1. Структура твердих тіл.												
Тема 1. Структура твердого тіла та види кристалічних твердих тіл.	7	2	1			4						
Тема 2. Експериментальні методи вивчення структури кристалів.	7	2	1			4						
Тема 3. Деформація матеріалів та їх пружні властивості.	7	2	1			4						
Тема 4. Пружні коливання кристалічної ґратки та хвилі.	7	2	1			4						
Розділ 2. Дефекти кристалічної будови та їх вплив на властивості матеріалів												
Тема 5. Дефекти кристалічної будови та їх вплив на властивості матеріалів.	7	2	1			4						
Тема 6. Дислокації та дисклінації. Їх вплив на пластичні властивості матеріалів.	7	2	1			4						
Тема 7. Плоскі та об'ємні дефекти.	7	2	1			4						
Тема 8. Дифузія у твердих тілах та її зв'язок з дефектною структурою кристалів.	7	2	1			4						
Розділ 3. Теплові властивості твердих тіл												
Тема 9. Теплоємність твердих тіл.	8	2	1			5						
Тема 10. Теплопровідність	8	2	1			5						

твердих тіл.												
Тема 11. Електрони у металах. Їх вплив на теплоємність на теплопровідність	8	2	1			5						
Розділ 3. Електричні та магнітні властивості твердих тіл												
Тема 12. Електронні властивості твердих тіл. Зонна теорія твердих тіл.	8	2	1			5						
Тема 13. Електричні властивості діелектриків та напівпровідників.	8	2	1			5						
Тема 14. Термoeлектричні явища у твердих тілах.	8	2	1			5						
Тема 15. Магнітні властивості твердих тіл.	8	2	1			5						
Тема 16. Надпровідні властивості твердих тіл.	8	2	1			5						
Усього годин	120	32	16			72						

4. Теми семінарських (практичних, лабораторних) занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Структура твердого тіла та види кристалічних твердих тіл.	1
2	Експериментальні методи вивчення структури кристалів.	1
3	Деформація матеріалів та їх пружні властивості.	1
4	Пружні коливання кришталевої ґратки та хвилі.	1
5	Дефекти кристалічної будови та їх вплив на властивості матеріалів.	1
6	Дислокації та дисклінації. Їх вплив на пластичні властивості матеріалів.	1
7	Плоскі та об'ємні дефекти.	1
8	Диффузія у твердих тілах.	1
9	Теплоємність твердих тіл.	1
10	Теплопровідність твердих тіл.	1
11	Електрони у металах. Їх вплив на теплоємність на теплопровідність.	1
12	Зонна теорія твердих тіл.	1
13	Електричні властивості діелектриків та напівпровідників.	1
14	Термoeлектричні явища у твердих тілах.	1
15	Магнітні властивості твердих тіл.	1
16	Надпровідні властивості твердих тіл.	1

	Разом		16
--	-------	--	----

5. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
1	Структура твердого тіла та види кристалічних твердих тіл.	4
2	Експериментальні методи вивчення структури кристалів.	4
3	Деформація матеріалів та їх пружні властивості.	4
4	Пружні коливання кришталевої ґратки та хвилі.	4
5	Дефекти кристалічної будови та їх вплив на властивості матеріалів.	4
6	Дислокації та дисклінації. Їх вплив на пластичні властивості матеріалів.	4
7	Плоскі та об'ємні дефекти.	4
8	Дифузія у твердих тілах.	4
9	Теплоємність твердих тіл.	5
10	Теплопровідність твердих тіл.	5
11	Електрони у металах. Їх вплив на теплоємність на теплопровідність.	5
12	Зонна теорія твердих тіл.	5
13	Електричні властивості діелектриків та напівпровідників.	5
14	Термоелектричні явища у твердих тілах.	5
15	Магнітні властивості твердих тіл.	5
16	Надпровідні властивості твердих тіл.	5
	Разом	72

6. Індивідуальні завдання

Не передбачені.

7. Методи контролю

Система рейтингових балів та критерії оцінювання:

1. Експрес-контроль (загальний ваговий бал - 20) проводиться з метою перевірки якості роботи студента на практичних заняттях в аудиторії. Тривалість експрес-контролю 5-10 хвилин. Кожен експрес-контроль включає 2 простих завдання, за кожен правильну відповідь студент отримує 1 бал. Відсутність студента на занятті або невиконання експрес-контролю приносить студенту 0 балів.

2. Модульний контроль (загальний ваговий бал - 40) проводиться у вигляді двох модульних контрольних робіт тривалістю 2 академічні години кожна. Кожна МКР складається з 5 задач, які оцінюються по 4 бали. Максимальна кількість балів за МКР $20 \cdot 2 = 40$ балів.

Критерії оцінювання:

- Повністю правильно виконане завдання оцінюється в 4 бали;
- Завдання виконане з несуттєвими помилками оцінюється в 3 бали (незначні помилки в арифметичних розрахунках);
- Часткове виконане завдання оцінюється в 2 бали (правильно обрана логіка рішення але грубі помилки в розрахунках);
- Часткове виконане завдання оцінюється в 1 бал (правильно обрана логіка рішення, зовсім відсутні розрахунки);
- Неправильно виконане завдання оцінюється в 0 балів.

Якщо студент отримав оцінку менше 10 балів за МКР, то він зобов'язаний переписати цю роботу, але не більше двох разів.

3. Екзаменаційна робота (ваговий бал - 40). Необхідною умовою допуску студента до екзамену з дисципліни є позитивний рейтинг з усіх форм семестрової атестації (позитивний рейтинг з МКР та експрес-контролю), але не менше 30 балів.

Екзаменаційний білет містить два теоретичних питання і одну задачу.

Критерії оцінювання:

- Теоретичні питання оцінюються в 10 балів кожен, при неповній або частково помилковій відповіді – 5 балів, при відсутності відповіді – 0 балів.
 - Повністю розв'язана задача оцінюється в 20 балів;
 - Задача розв'язана з несуттєвими помилками оцінюється в 15 бали (незначні помилки в арифметичних розрахунках);
 - Частково розв'язана задача оцінюється в 10 балів (правильно обрана логіка рішення та формули але грубі помилки в розрахунках);
 - Часткове розв'язана задача оцінюється в 5 балів (правильно обрана логіка рішення, зовсім відсутні розрахунки);
 - Нерозв'язана задача оцінюється в 0 балів.
- Форма підсумкового контролю знань – екзамен.

8. Схема нарахування балів

Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання						Екзамен	Сума
Розділ 1	Розділ 2	Розділ 3	Розділ 4	Контрольна робота	Разом		
T1-T5	T1-T4	T1-T4	T1-T3	одна			
10 балів	10 балів	10 балів	10 балів	20	60	40	100

T1, T2 ... – теми розділів.

-експрес контроль під час аудиторних занять: 10 балів;

-виконання контрольної роботи: 20 балів;

- екзамен - 40 балів.

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка	
	для екзамену	для заліку
90 – 100	відмінно	зараховано
70-89	добре	
50-69	задовільно	
1-49	незадовільно	не зараховано

9. Рекомендована література Основна література

1. Ю. М. Поплавко Фізика твердого тіла, Том 1. Структура, квазічастинки, метали, магнетики, Київ Політехніка, 2017, 415 с.
2. Подопригора Н.В., Садовий М.І., Трифонова О.М. Фізика твердого тіла, Кіровоград, «Центр оперативної поліграфії «Авангард», 2014, 416 с.
3. І.Ю.Проценко, Н.І.Шумакова, Ю.М.Овчаренко Фізика твердого тіла, Суми СумДУ, 2002, 65 с.
4. В.В. Бібик, Т.М. Гричановська, Л.В.Однорець, Н.І.Шумакова Фізика твердого тіла, Суми СумДУ, 2010, 200 с.

Допоміжна література

Для детального вивчення окремих розділів курсу лекцій викладачем рекомендуються статті з журналів: доповіді НАН України, Металофізика та новітні технології, Український фізичний журнал; Проблеми атомної науки і техніки.

Посилання на інформаційні ресурси в Інтернеті, відео-лекції, інше методичне забезпечення

1. Веб-ресурси ННЦ ХФТІ, мережа інтернет.
2. Бібліотека ННЦ ХФТІ.