Додаток 4

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Кафедра фізики низьких температур

"**ЗАТВЕРДЖУЮ**"
Декан факультету (директор навчально-наукового інституту)
фізичний факультет
(вказати назву структурного підрозділу)

Вовк Р. В.
(вказати П.І.Б керівника)
"_____" _____ 20 24 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Електронні властивості номальних металів і методи дослідження електронного енергетичного спектру. Локалізація та мезоскопічні явища в металах при низьких температурах
(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

галузь знань 10 природничі науки
(шифр і назва)

спеціальність 104 Фізика та астрономія
(шифр і назва)

освітня програма Фізика
(шифр і назва)

спеціалізація
(шифр і назва)

вид дисципліни нормативна
(обов'язкова / за вибором)

факультет фізичний

20 24 / 20 25 навчальний рік

2

Програму рекомендовано до затвердження вченою радою факультету (інституту, центру)

«30» серпня 2024 року, протокол № 9.

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ: (вказати авторів, їхні наукові ступені, вчені звання та посади)
Білецький Володимир Іванович, кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри фізики низьких температур,
Шкловський Валерій Олександрович, доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри фізики низьких температур,
Петренко Євген Володимирович, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри фізики низьких температур,

Програму схвалено на засіданні кафедри фізики низьких температур

Протокол від «26» серпня 2024 року № 14.

В.о. завідувача кафедри фізики низьких температур
_____ Валерій ШКЛОВСЬКИЙ
(підпис) (ім'я та прізвище)

Програму погоджено методичною комісією фізичного факультету

Протокол від «28» серпня 2024 року № 1

Голова науково-методичної комісії фізичного факультету_____
_____ Микола МАКАРОВСЬКИЙ
(підпис) (прізвище та ініціали)

Програму погоджено з гарантом освітньої (професійної/наукової) програми (керівником проектної групи) фізика
назва освітньої програми

Гарант освітньої (професійної/наукової) програми
(керівник проектної групи) фізика
_____ Олег ЛАЗОРЕНКО
(підпис) (прізвище та ініціали)

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни «_Електронні властивості номальних металів і методи дослідження електронного енергетичного спектру»
складена відповідно до освітньо-професійної (освітньо-наукової) програми підготовки

_перший (бакалаврський)
(назва рівня вищої освіти)

спеціальності ___104 Фізика та астрономія

спеціалізації

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Мета викладання навчальної дисципліни є отримання теоретичних і практичних навичок в галузі експериментального вивчення електронних властивостей металів при низьких температурах.

1.2. Програмні компетентності, що забезпечуються дисципліною ВК 6 у відповідності до ОПП «Фізика»:

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 складністю та невизначеністю умов

Загальні компетентності:

ЗК 2. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК 3. Навички використання інформаційних ікомунікаційних технологій.

ЗК 5. Здатність приймати обґрунтованірішення.

ЗК 8. Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт.

ЗК 9. Визначеність і наполегливість щодо поставлених завдань і взятих обов'язків.

ЗК 12. Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово.

ЗК 13. Здатність спілкуватися іноземною мовою.

Фахові компетентності:

ФК 1. Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасноїфізики та астрономії.

ФК 7. Здатність використовувати базові знання з фізики та астрономії для розуміння будови та поведінки природних і штучних об'єктів, законів існування та еволюції Всесвіту.

ФК 9. Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації.

ФК 10.Здатність самостійно навчатися іопановувати нові знання з фізики, астрономії та суміжних галузей.

ФК 12. Усвідомлення професійних етичних аспектів фізичних та астрономічних досліджень.

ФК 13. Орієнтація на найвищі науковістандарти – обізнаність щодо фундаментальних відкриттів та теорій, які суттєво вплинули на розвиток фізики,астрономії та інших природничих наук.

ФК 14. Здатність здобувати додаткові компетентності через вибіркові складові освітньої програми, самоосвіту, неформальну та інформальну освіту

1.3. Кількість кредитів : 9

1.4. Загальна кількість годин : 270

1.5. Характеристика навчальної дисципліни	
Нормативна / за вибором	
Денна форма навчання	Заочна (дистанційна) форма навчання
Рік підготовки	
4-й	-й
Семестр	
7-й	-й
Лекції	
64 год.	год.
Практичні, семінарські заняття	
год.	год.
Лабораторні заняття	
96 год.	год.
Самостійна робота	
110 год.	год.
Індивідуальні завдання	
2 контрольні роботи	

1.6. Програмні результати навчання, що забезпечуються дисципліною ВК 6 у відповідності до ОПП «Фізика»:

ПРН 1. 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 та/або астрономії.

ПРН 2. Знати і розуміти фізичні основи астрономічних явищ: аналізувати, тлумачити, пояснювати і класифікувати будову та еволюцію астрономічних об’єктів Всесвіту (планет, зір, планетних систем, галактик тощо), а також основні фізичні процеси, які відбуваються в них.

ПРН 3. Знати і розуміти експериментальні основи фізики: аналізувати, описувати, тлумачити та пояснювати основні експериментальні підтвердження існуючих фізичних теорій.

ПРН 5. Знати основні актуальні проблеми сучасної фізики та астрономії.

ПРН 6. Оцінювати вплив новітніх відкриттів нарозвиток сучасної фізики та астрономії.

ПРН 7. Розуміти, аналізувати і пояснювати нові наукові результати, одержані у ході проведення фізичних та астрономічних досліджень відповідно до спеціалізації.

ПРН 8. Мати базові навички самостійного навчання: вміти відшуковувати потрібну інформацію в друкованих та електронних джерелах, аналізувати, систематизувати,

розуміти, тлумачити та використовувати її для вирішення наукових і прикладних завдань.

ПРН 11.Вміти упорядковувати, тлумачити та узагальнювати одержані наукові та практичні результати, робити висновки.

ПРН 13.Розуміти зв'язок фізики та/або астрономії з іншими природничими та інженерними науками, бути обізнаним з окремими (відповідно до спеціалізації) основними поняттями прикладної фізики, матеріалознавства, інженерії, хімії, біології тощо, а також з окремими об'єктами (технологічними процесами) та природними явищами, що є предметом дослідження інших наук і, водночас, можуть бути предметами фізичних абоастрономічних досліджень.

ПРН 17.Знати і розуміти роль і місце фізики, астрономії та інших природничих наук у загальній системі знань про природу та суспільство, у розвитку техніки й технологій та у формуванні сучасного наукового світогляду.

ПРН 22.Розуміти значення фізичних досліджень для забезпечення сталого розвитку суспільства.

ПРН 23.Розуміти історію та закономірності розвитку фізики та астрономії.

ПРН 24.Розуміти місце фізики та астрономії у загальній системі знань про природу і суспільство та у розвитку суспільства, техніки і технологій.

ПРН 25.Мати навички самостійного прийняття рішень стосовно своїх освітньої траєкторії та професійного розвитку.

2. Тематичний план навчальної дисципліни

Розділ 1. Квантовомеханічні уявлення про побудову електронного енергетичного спектру.

Тема 1. Розвиток уявлень щодо фізики металів.

Зміст. Класифікація твердих тіл: метал, ізолятор, напівпровідник, напівметал, надпровідник. Типи хімічних зв'язків у речовинах. Утворення металів при конденсації нейтральних атомів. Металевий зв'язок і кристалічна ґратка. Типи кристалічних ґраток, що реалізуються у металах. Прості (неперехідні) та перехідні метали.

Тема 2. Модель вільних електронів

Зміст. Важливіші співвідношення поміж електронними характеристиками металу у випадку квадратичного ізотропного закону дисперсії. Час релаксації, рухливість електронів, довжина вільного пробігу. Класична модель Друде-Лоренця. Квантово-механічна модель Зоммерфельда. Уявлення про поверхню Фермі (ПФ), імпульс Фермі, фермівська швидкість електронів.

Тема 3. Термодинамічні властивості металів: електронна теплоємність

Зміст. Повна теплоємність при постійному тиску. Густина станів електронів поблизу поверхні Фермі. Порівняння ґраткової та електронної питомих теплоємностей. Отримання коефіцієнту електронної теплоємності з калориметричних даних. Особливості експериментального обладнання.

Тема 4. Динаміка блохівських електронів.

Зміст. Вплив кристалічної ґратки на рух електронів. Залежність енергії електрона у ґратці від його квазіімпульсу. Теорема Блоха. Обернена решітка. Побудова зон Бріллюена для основних типів кристалічних ґраток. Метод Вігнера-Зейтца. Ефективна маса.

Тема 5. Класифікація поверхней Фермі

Зміст. Заповнення електронами зон Бріллюена. Електронні та діркові ПФ. Метод Харисона побудови ПФ. Закриті та відкриті ПФ. Приклади ПФ металевих елементів

Тема 6. Кінетичні властивості металів і напівпровідників.

Зміст. Кінетичне рівняння Больцмана. Наближення часу релаксації. Електропровідність. Правило Матісена. Закон Блоха-Грюнайзена. Формула Ліфшиця. Температурна залежність опору напівпровідника. Закон Ареніуса. Вимірювання енергетичної щілини напівпровідника методом термоактиваційного аналізу.

Тема 7. Теплопровідність (1)

Зміст. Кінетичне рівняння Больцмана. Закон Відемана-Франца. Енергетична та імпульсна довжини вільного руху електронів. Поняття нормальних процесів та процесів перекидання при розсіюванні електронів.

Тема 8 Теплопровідність (2)

Зміст. Температурна залежність електронної теплопровідності. Формула Вільсона. Залежність числа Лоренця від температури. Уявлення про термоелектричні явища у металах.

Розділ 2. Основні експериментальні методи вивчення електронного енергетичного спектру.

Тема 1. Квазічастинки у магнітному полі (1)

Зміст. Рух квазічастинок у сталому магнітному полі. Циклотронна частота і маса. Зв‘язок ефективної і циклотронної маси при квадратичному ізотропному і анізотропному законах дисперсії. Вплив форми поверхні Фермі на циклотронну масу.

Тема 2. Квазічастинки у магнітному полі (2)

Зміст. Електрони і дірки. Ефективне магнітне поле. Слабкі і сильні магнітні поля. Експериментальне обладнання для спостереження електронних явищ у магнітних полях.

Тема 3. Квантування енергії електронів в магнітному поліЗміст. Квантуюче магнітне поле. Розподіл електронів у р-просторі у присутності магнітного поля. Рівні Ландау, циліндри Ландау, спінове розщеплення рівнів. Густина станів при різних розмірностях електропровідних сполук.

Тема 4. Осциляційні явища у квантуючому магнітному полі.

Зміст. Осциляції магнітного моменту металів у магнітному полі – ефект де Хааза - ван Альфена та осциляції електропровідності металів – ефект Шубнікова – де Хааза, Аналіз експериментальних залежностей і розрахунок площі перетину поверхні Фермі.

Тема 5. Квазічастинки у схрещених електричному і магнітному полях

Зміст. Ефект Холла. Визначення густини електронів і дірок за допомогою ефекта Холла у металах та напівпровідниках. Гальваномагнітні методи досліджень електронного енергетичного спектру: а) слабкі поля; б) сильні поля.

Тема 6. Циклотронний резонанс Азбеля – Канера

Зміст. Нормальний і аномальний скін-ефекти. Визначення циклотронної маси електронів у металах з експерименту. Аналіз результатів у випадку складних поверхней Фермі.

Тема 7. Поглинання звуку в металах.

Зміст. Поглинання звуку у металах. Низькі частоти. Високі частоти. Магнітоакустичні осциляційні явища. Ефект нахилу.

Тема 8. Розмірні ефекти в магнітному полі

Зміст. Вплив розмірів зразків на електропровідність металів у магнітному полі. Ефект Зондхеймера. Радіочастотний розмірний ефект.

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. Теоретичні уявлення про енергетичний спектр електонів												
Тема 1. Назва	7	2				5						
Тема 2. Назва	8	3				5						
Тема 3. Назва	8	3				5						
Тема 4. Назва	9	3				6						
Тема 5. Назва	35	3		26		6						
Тема 6. Назва	9	3				6						
Тема 7. Назва	12	4				8						
Тема 8. Назва	32	3		22		7						
Разом за розділом 1	120	24		48		48						
Розділ 2. Експериментальні методи визначення властивостей електронів металах												
Тема 1. Назва	12	5				7						
Тема 2. Назва	10	5				5						
Тема 3. Назва	12	5				7						
Тема4. Назва	36	5		24		7						
Тема 5. Назва	10	5				5						
Тема 6. Назва	10	5				5						
Тема 7. Назва	38	5		24		9						
Тема 8. Назва	10	5				5						
Разом за розділом 2	138	40		48		50						
	12				12							
Усього годин	270	64		96	110							

4. Теми семінарських (практичних, лабораторних) занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Визначення енергії активації створення вакансій у золоті	26
2	Вивчення електричного опору металів і сплавів	22
3	Теплоємність алюмінію при низьких температурах	24
4	Залежність температури Кюрі від концентрації сплаву нікель-мідь	24
	Разом	96

5. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
1	Окреслити особливості ПФ металів 1-ї, 2-ї і 3-ї груп таблиці Менделєєва	5
2	Обґрунтувати Закон Арреніуса та вимірювання енергетичної щілини напівпровідника методом термоактиваційного аналізу	5
3	Висвітлити особливості енергетичного спектру металів, напівметалів і напівпровідників	5
4	Навести короткий огляд атласа ПФ металів	6
5	Проаналізувати особливості електропровідності чистих металів і сплавів, аморфних металів	6
6	Навести приклади практичного використання ефекту Холла	6
7	Навести схему дослідження циклотронного резонансу АК	8
8	Сформулювати зв’язок особливостей магнітоопору метала з особливостями його поверхні Фермі	7
9	Навести огляд методів збуджень високочастотного звуку в металах	7
10	Охарактеризувати переваги різних методів створення зразків металів для досліджень	5
11	Сформулюйте основні уявлення про побудову енергетичного спектру металів. Модель Кроніга-Пенні	7
12	Порівняти інформативність спостережень гігантських квантових осциляції поглинання ультразвуку в металах з іншими осциляційними явищами	7
13	Навести лабораторні методи створення магнітних полів	5
14	Обґрунтувати роль магнітного поля у визначенні параметрів електронного енергетичного спектру	5
15	Навести методи створення високочастотного звуку	9
16	Наведіть схеми експериментального обладнання для визначення теплоємності твердих тіл	5
17	Підготуватись до контрольних робіт (2 роботи протягом семестру)	12
	Разом	110

6. Індивідуальні завдання

2 контрольні роботи

7. Методи навчання

Лекції, лабораторні заняття у дистанційному режимі, консультації протягом семестру.

8. Методи контролю

Поточний контроль – опитування під час лекцій, контрольні роботи; контроль самостійної роботи, підсумковий контроль – екзамен.

9. Схема нарахування балів

Приклад для підсумкового семестрового контролю при проведенні семестрового екзамену

Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання					Екзамен	Сума
Розділ 1	Розділ 2	Курсова робота	Контрольні роботи, передбачені навчальним планом	Разом		
Т1-Т8	Т1-Т8		2 х 10			
20	**20**		**20**	**60**	**40**	**100**

Т1, Т2 ... – теми розділів.

Для допуску до складання підсумкового контролю (заліку, або екзамену) здобувач вищої освіти повинен набрати не менше _70____ балів з навчальної дисципліни під час поточного контролю, самостійної роботи, індивідуального завдання.

Критерії оцінювання навчальних досягнень

Шкала оцінювання

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

10. Рекомендована література

Основна література

1. Говорун Т.П. Фізика конденсованого стану матеріалів / Т.П. Говорун, В.О. Пчелінцев, В.М. Радзієвський, Л.В. Носонова. навч. посіб. - Суми: СумДУ, 2015. - 236 с.

2. Подопригора Н.В. М.І. Садовий, О.М. Трифонова. Фізика твердого тіла / Н.В. Подопригора, М.І. Садовий, О.М. Трифонова: навчальний посібник для студентів

фізичних спеціальностей педагогічних університетів, – Кіровоград: ПП «Центр оперативної поліграфії «Авангард», 2014. – 416 с.
3. Болеста І.М. Фізика твердого тіла. Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 1998. − 615 с.

Допоміжна література

1. Практикум з фізики низьких температур: навчальний посібник . Частина 1/ . М..О.Оболенський, В.П.Лебедєв, В.І.Білецький, А.А.Завгородній, В.В.Козинець. Харків: ХНУ імені В.Н. Каразіна. - 2008. – 132 с.

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