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) фізичного факультету
(вказати назву структурного підрозділу)

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

Робоча програма навчальної дисципліни

Основи фізики надпровідників
(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
галузь знань 10 природничі науки
(шифр, назва галузі)

спеціальності 104 « Фізика та астрономія»
(шифр, назва спеціальності)

освітня програма «Фізика»

спеціалізація_____
(шифр, назва)

вид дисципліни нормативна (обов'язкова)
факультет фізичний

2024 / 2025 навчальний рік

2

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою фізичного факультету

«30» серпня 2024 року, протокол № 9.

РОЗРОБНИК ПРОГРАМИ:
Гриб Олександр Миколайович, доктор фізико-математичних наук, професор 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 методичної комісії фізичного факультету

_____ Микола МАКАРОВСЬКИЙ
(підпис) (ім'я та прізвище)

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 «Основи фізики надпровідності»
складена відповідно до освітньої програми «Фізика» підготовки фахівців першого рівня вищої освіти (бакалавр)_____
(назва рівня вищої освіти, освітньо-кваліфікаційного рівня)
напряму підготовки 104-фізика та астрономія

1. Опис навчальної дисципліни

1.1 Метою викладання навчальної дисципліни “Основи фізики надпровідності" є:
1) послідовне і методичне вивчення студентами бакалаврату фізичного факультету надпровідних властивостей металів і сплавів,
2) опанування сучасних уявлень про фізику надпровідності, мікроскопічну та феноменологічну теорії надпровідності;
3) набуття студентами навичок використання основних властивостей надпровідників першого та другого роду;
4) ознайомлення з характерними особливостями низькотемпературних та високотемпературних надпровідників.
1.2. Програмні компетентності, що забезпечуються дисципліною ВК 7 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 і комунікаційних технологій.
ЗК 5. Здатність приймати обґрунтовані рішення.
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 сучасної фізики 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 і опановувати нові знання з фізики, астрономії та суміжних галузей.
ФК 12. Усвідомлення професійних етичних аспектів фізичних та астрономічних досліджень.
ФК 13. Орієнтація на найвищі наукові стандарти – 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 3
1.4. Загальна кількість годин 90

1.5. Характеристика навчальної дисципліни
нормативна
Денна форма навчання
Рік підготовки
4-й
Семестр
7-й
Лекції
32 год.
Практичні, семінарські заняття
Не передбачені навчальним планом
Лабораторні заняття
Не передбачені навчальним планом
Самостійна робота
58 год.
у тому числі індивідуальні завдання
1 курсова робота – 10 год.

1.6. Програмні результати навчання, що забезпечуються дисципліною ВК 7 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 на розвиток 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 або астрономічних 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. **МАГНІТНІ ТА ТЕРМОДИНАМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ НАДПРОВІДНИКІВ**
Тема 1.1**.** Основні експериментальні результати вивчення властивостей надпровідників.
Тема 1.2**.** Магнітні властивості надпровідників. Ефект Мейсснера.
Тема 1.3**.** Ентропія, теплоємність та вільна енергія надпровідників.
Розділ 2. **ЛІНІЙНА ЕЛЕКТРОДИНАМІКА НАДПРОВІДНИКІВ**
Тема 2.1**.** Рівняння Лондонів.
Тема 2.2**.** Лондонівська глибина проникнення магнітного поля.
Тема 2.3**.** Квантування магнітного потоку.
Розділ 3. **ФЕНОМЕНОЛОГІЧНА ТЕОРІЯ ГІНЗБУРГА-ЛАНДАУ**
Тема 3.1**.** Рівняння теорії Гінзбурга-Ландау.
Тема 3.2**.** Масштаби довжини в надпровідниках.
Тема 3.3**.** Ефект близькості.
Тема 3.4**.** Енергія границі розділу між нормальною та надпровідною фазами.
Розділ 4. **ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРІЇ БКШ**
Тема 4.1. Феномен Купера.
Тема 4.2. Енергетична щілина при T=0 та температурна залежність щілини.
Тема 4.3. Енергія основного стану та розподіл куперівських пар в основному стані.
Тема 4.4. Квазічастинки у теорії БКШ. Густина станів квазічастинок.
Розділ 5. **СЛАБКА НАДПРОВІДНІСТЬ**
Тема 5.1. Стаціонарний і нестаціонарний ефект Джозефсона.
Тема 5.2. Резистивна і резистивно-ємнісна моделі контакту Джозефсона.
Тема 5.3. Контакт Джозефсона в зовнішньому магнітному полі.
Тема 5.4. Надпровідні квантові інтерферометри.
Розділ 6. **НАДПРОВІДНИКИ ДРУГОГО РОДУ.**
Тема 6.1. Магнітні властивості надпровідників другого роду.
Тема 6.2. Взаємодія вихорів у надпровіднику другого роду.
Тема 6.3. Резистивний стан.

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. МАГНІТНІ ТА ТЕРМОДИНАМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ НАДПРОВІДНИКІВ												
Тема 1.1**.** Основні експериментальні результати вивчення властивостей надпровідників.	4	2				2						
Тема 1.2**.** Магнітні властивості надпровідників. Ефект Мейсснера	4	2				2						
Тема 1.3. Ентропія, теплоємність та вільна енергія надпровідників	4	2				2						
Разом за розділом **1**	12	6				6						
Розділ 2 ЛІНІЙНА ЕЛЕКТРОДИНАМІКА НАДПРОВІДНИКІВ												
Тема 2.1. Рівняння Лондонів.	4	2				2						
Тема 2.2. Лондонівська глибина проникнення магнітного поля.	4	2				2						
Тема 2.3**.** Квантування магнітного потоку.	4	2				2						
Разом за розділом **2**	12	6				6						
Розділ 3. **ФЕНОМЕНОЛОГІЧНА ТЕОРІЯ ГІНЗБУРГА-ЛАНДАУ**												
Тема 3.1. Рівняння теорії Гінзбурга-Ландау.	5	2				3						
Тема 3.2. Масштаби довжини в надпровідниках.	4	1				3						
Тема 3.3**.** Ефект близькості.	4	1				3						
Тема 3.4. Енергія границі розділу між нормальною та надпровідною фазами.	4	1				3						

Разом за розділом **3**	17	5				12						
Розділ 4. **ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРІЇ БКШ**												
Тема 4.1. Феномен Купера.	3	1				2						
Тема 4.2. Енергетична щілина при *T*=0 та температурна залежність щілини..	5	2				3						
Тема 4.3. Енергія основного стану та розподіл куперівських пар в основному стані..	5	2				3						
Тема 4.4. Квазічастинки у теорії БКШ. Густина станів квазічастинок.	3	1				2						
Разом за розділом **4**	16	6				10						
Розділ 5. **СЛАБКА НАДПРОВІДНІСТЬ**												
Тема 5.1. Стаціонарний і нестаціонарний ефект Джозефсона.	3	1				2						
Тема 5.2. Резистивна і резистивно-ємнісна моделі контакту Джозефсона.	3	1				2						
Тема 5.3. Контакт Джозефсона в зовнішньому магнітному полі.	4	2				2						
Тема 5.4. Надпровідні квантові інтерферометри.	4	2				2						
Разом за розділом **5**	14	6				8						
Розділ 6. **НАДПРОВІДНИКИ ДРУГОГО РОДУ**												
Тема 6.1. Магнітні властивості надпровідників другого роду.	3	1				2						
Тема 6.2. Взаємодія вихорів у надпровіднику другого роду.	3	1				2						
Тема 6.3. Резистивний стан.	3	1				2						
Разом за розділом **6**	9	3				6						
					10	48						

Усього годин	**90**	**32**			**Разом з інд. 58 год**						

4. Теми семінарських (практичних, лабораторних) занять

Не передбачені навчальним планом

5. Завдання для самостійної робота

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
1	Навести приклади для кожного переліченого в лекції явища, характерного для надпровідного стану.	2
2	Застосувати вираз для температурної залежності магнітного поля для надпровідника до розрахунку струму, який тече по поверхні надпровідника в полосі заданої ширини.	2
3	Розрахувати ентропію, теплоємність та вільну енергію надпровідників у магнітному полі.	2
4	Опрацювати математичний розрахунок рівнянь Лондонів та зрозуміти їх фізичний сенс.	2
5	Розрахувати лондонівську глибину проникнення магнітного поля для тонкої плівки надпровідника.	2
6	Розрахувати значення кванту магнітного потоку для тонкостінного надпровідного циліндра з внутрішнім отвором.	2
7	Опрацювати математичний розрахунок рівнянь Гінзбурга-Ландау та зрозуміти їх фізичний смисл.	3
8	Оцінити характерні значення довжини когерентності та лондонівської глибини проникнення магнітного поля в надпровідниках.	3
9	Розрахувати характерні значення довжини когерентності ξ_n при різних температурах.	3
10	Знайти енергію розділу нормальної та надпровідної фази в олові і зробити висновок про рід цього надпровідника.	3
11	Зробити оцінку розміру куперівської пари.	2
12	Знайти спосіб вирішення рівняння для залежності енергетичної щілини від температури. Знайти приблизний вираз для залежності енергетичної щілини від температури поблизу критичної температури. Знайти співвідношення між величиною енергетичної щілини при T=0 та критичною температурою надпровідника. Знайти співвідношення між критичною температурою надпровідника та масою ізотопу.	3
13	Оцінити величину «розпливання» функції v_k^2 по енергії поблизу k_F.	3
14	Отримати вираз Оцінити відношення густини станів у спектрі збуджень надпровідника до густини станів електронів у нормальному металі поблизу рівня Фермі. для густини станів в енергетичному спектрі надпровідника.	2
15	Виконати теоретичні розрахунки з отримання співвідношень Джозефсона методом Р. Фейнмана.	2
16	Вивчити резистивну модель джозефсонівського контакту. Зробити порівняльний аналіз теоретичної та експериментальної	2

	вольт-амперних характеристик джозефсонівських переходів.	
17	Вивести рівняння синус-Гордона для моделі, в якій контакт представлений як довга лінія. Розрахувати сходинки Фіске на вольт – амперній характеристиці типового довгого контакту.	2
18	Вивести рівняння двохконтактного інтерферометра.	2
19	Розглянути фізичний смисл поняття другого критичного поля.	2
20	Вивести формулу для взаємодії вихорів.	2
21	Розглянути аналогію між контактом Джозефсона та надпровідником другого роду в резистивному стані.	2
24	Підготовка курсової роботи	10
	Разом	58

6. Індивідуальні завдання

Курсова робота.

7. Методи контролю

7.1. Поточний контроль – опитування, перевірка домашніх завдань, курсова робота.
7.2. Семестровий підсумковий контроль – залік.

8. Схема нарахування балів

Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання								Письмовий залік	Сума
Розділ 1	Розділ 2	Розділ 3	Розділ 4	Розділ 5	Розділ 6	Курсова робота, передбачена навчальним планом	Разом		
Т 1.1. - Т 1.3	Т 2.1 - Т 2.3	Т 3.1 - Т 3.4	Т 4.1 - Т 4.4	Т 5.1 - Т 5.4	Т 6.1 - Т 6.3	10 балів	40 балів	60 балів	100 балів
5 балів	5 балів	5 балів	5 балів	5 балів	5 балів				
30 балів									

Т1, Т2 ... – теми розділів.

Критерії оцінювання

1. Оцінка рівня знань:
- глибина і міцність знань про фізику надпровідності; знання основних теоретичних моделей надпровідників та їх основних властивостей.**;**
- рівень мислення та вміння синтезувати знання з окремих тем;
- вміння складати розгорнутий план відповіді;
- вміння давати точні формулювання та правильно користуватись понятійним апаратом фізики надпровідності;
- культура відповіді (грамотність, логічність і послідовність викладу).
2. Оцінка навичок самостійної роботи;
- навички пошуку необхідної літератури теоретичного та експериментального характеру з галузі фізики надпровідності);
- орієнтація в потоці інформації з обраної галузі та тематики;
- навички ведення записів (складання простого і розгорнутого плану, конспекту, виступу);
- навички науково-пошукової роботи.
3. Оцінка вміння застосувати знання на практиці.
- виконання індивідуальних завдань (контрольні роботи).

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

9. Рекомендована література

Основна література

1. Локтєв В. Лекції з фізики надпровідності / В. М. Локтєв // Київ : ІТФ НАН України, 2011. — 276 с.
2. Свідзинський А. Мікроскопічна теорія надпровідності. І / А. В. Свідзинський // Луцьк : РВВ «Вежа» Волин. держ. ун-ту ім. Лесі Українки, 2001. − Ч. 1. − 254 с.
3. Свідзинський А. Мікроскопічна теорія надпровідності. ІІ / А. В. Свідзинський // Луцьк : РВВ «Вежа» Волин. держ. ун-ту ім. Лесі Українки, 2003. − Ч. 2. − 170 с.
4. Фізика низьких температур: навч. посібник / А. Франів, В. Стадник, В. Курляк. – Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2016. – 362 с.
5. Різак В.М., Різак І.М., Рудавський Е.Я. Кріогенна фізика і техніка.– К. Наукова думка, 2006.

Допоміжна література

1. De Gennes P. Superconductivity of metals and alloys / P. G. De Gennes//New York-Amsterdam: W. A. Benjamin Inc.- 1966.-292 P.
2. Tinkham M. Introduction to superconductivity / M. Tinkham // New York: McGrow Hill Inc.-1996.- 454 P.
3. Animalu A. Intermediate quantum theory of crystalline solids /Alexander O.E. Animalu // Englewood Cliff: Prentice Hall.- 1977.- 538 P.
4. Говорун Т.П. Фізика конденсованого стану матеріалів / Т.П. Говорун, В.О. Пчелінцев,
5. В.М. Радзієвський, Л.В. Носонова. навч. посіб. - Суми: СумДУ, 2015. - 236 с.
6. Мазуренко Д.М. Електронна теорія речовини / К.: Вища школа, 1969. – 174 с.

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

1. Квант магнітного потоку — Вікіпедія (wikipedia.org)
2. Квантовий вихор — Вікіпедія (wikipedia.org)
3. Рівняння Гінзбурга — Ландау — Вікіпедія (wikipedia.org)