

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Кафедра теоретичної фізики імені академіка І. М. Ліфшиця

**“ЗАТВЕРДЖУЮ”**

Декан фізичного факультету

(вказати назву структурного підрозділу)

Вовк Руслан Володимирович

(вказати П.І.Б керівника)

“ 30 ” 08

2024 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Теорія надповідності

(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти _____ магістр _____
галузь знань _____ 10 природничі науки _____
(шифр і назва)
спеціальність _____ 104 Фізика та астрономія _____
(шифр і назва)
освітня програма _____ освітньо-професійна програма «Фізика» _____
(шифр і назва)
спеціалізація _____ “Фізика” _____
(шифр і назва)
вид дисципліни _____ за вибором _____
(обов’язкова / за вибором)
факультет _____ фізичний _____

2024____ / 2025____ навчальний рік

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

“ 30 ” 08 2024 року, протокол № 7

РОЗРОБНИК ПРОГРАМИ: Гриб Олександр Миколайович, професор кафедри фізики низьких температур, доктор фізико-математичних наук.

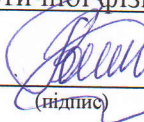
Програму схвалено на засіданні кафедри

теоретичної фізики імені академіка М. Ліфшиця

Програму схвалено на засіданні кафедри теоретичної фізики імені академіка І.М.Ліфшиця

Протокол від “ 27 ” 08 2024 року № 12

Завідувач кафедри теоретичної фізики імені академіка І.М.Ліфшиця


(підпис)

Рашба Г.І.
(прізвище та ініціали)

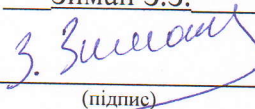
Програму погоджено з гарантом освітньої програми

фізика (спеціальність 104 – фізика та астрономія)

назва освітньої програми

Гарант освітньої-професійної програми

(керівник проектної групи) Зиман З.З.


(підпис)

Зиман З.З.
(прізвище та ініціали)

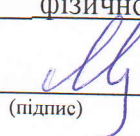
Програму погоджено методичною комісією

фізичного факультету

назва факультету, для здобувачів вищої освіти якого викладається навчальна дисципліна

Протокол від “ 28 ” 08 2024 року № 1

Голова методичної комісії фізичного факультету


(підпис)

Макаровський М.О.
(прізвище та ініціали)

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни «**Теорія надпровідності**» складена відповідно до освітньо-професійної (освітньо-наукової) програми підготовки другого рівню вищої освіти

магістр
(назва рівня вищої освіти)

спеціальності 104 – «фізика та астрономія»

освітня програма «Фізика»

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Мета викладання навчальної дисципліни

Метою викладання навчальної дисципліни «Теорія надпровідності» є формування уявлень студентів про теорію надпровідності Бардіна, Купера, Шріфера (БКШ), а також зв'язок теорії БКШ з лінійною електродинамікою надпровідників (теорією Лондонів).

1.2. Основні завдання вивчення дисципліни

Основними завданнями вивчення дисципліни є надання необхідної бази для подальшого більш глибокого вивчення фундаментальних та прикладних аспектів фізики надпровідності, а також навчання студентів проведенню самостійних досліджень в цій галузі науки.

Програмні компетентності, що забезпечуються дисципліною ВК6 у відповідності до ОНП «Фізика»:

Інтегральна компетентність:

Здатність розв'язувати складні задачі і проблеми дослідницького та/або інноваційного характеру у фізиці та астрономії.

Загальні компетентності:

- ЗК 1. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.
- ЗК 2. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.
- ЗК 3. Здатність проведення досліджень на відповідному рівні.
- ЗК 4. Здатність використовувати інформаційні та комунікаційні технології.
- ЗК 5. Вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми.
- ЗК 6. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.
- ЗК 9. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.
- ЗК 11. Здатність дотримуватися принципів академічної доброчесності.

Фахові компетентності:

- ФК 1. Здатність використовувати закони та принципи фізики та/або астрономії у поєднанні із потрібними математичними інструментами для опису природних явищ.
- ФК 2. Здатність формулювати, аналізувати та синтезувати рішення наукових проблем в області фізики та/або астрономії.
- ФК 3. Здатність презентувати результати проведених досліджень, а також сучасні концепції у фізиці та/або астрономії фахівцям і нефаківцям.
- ФК 4. Здатність комунікувати із колегами усно і письмово державною та англійською мовами щодо наукових досягнень та результатів досліджень в області фізики та/або астрономії.
- ФК 5. Здатність сприймати новоздобуті знання в області фізики та астрономії та інтегрувати їх із уже наявними, а також самостійно опановувати знання і навички,

необхідні для розв'язання складних задач і проблем у нових для себе деталізованих предметних областях фізики та/або астрономії й дотичних до них міждисциплінарних областях.

- ФК 7. Здатність планувати й здійснювати теоретичні та/або експериментальні дослідження фізичних або астрономічних об'єктів, явищ і процесів на основі розуміння і навичок практичного використання спеціалізованих знань фізики, астрономії та астрофізики, відповідно до обраної спеціалізації, а також спеціальних математичних методів та інформаційних технологій.
- ФК 8. Здатність встановлювати зв'язок між експериментальними і теоретичними результатами, здійснювати феноменологічний та теоретичний опис досліджуваних явищ, об'єктів і процесів, пов'язувати результати досліджень із сучасними фізичними та астрономічними теоріями і уявленнями.
- ФК 9. Здатність робити наукові узагальнення та осмислення результатів наукових досліджень, співвідносити висновки із положеннями сучасних фізичних або астрономічних теорій.
- ФК 10. Здатність представляти результати досліджень професійній та непрофесійній аудиторії.

1.3. Кількість кредитів: 3

1.4. Загальна кількість годин: 90

1.5. Характеристика навчальної дисципліни
за вибором
Денна форма навчання
Рік підготовки
1-й
Семестр
2-й
Лекції
24 год.
Практичні, семінарські заняття
Не передбачені навчальним планом
Лабораторні заняття
Не передбачені навчальним планом
Самостійна робота
66 год.
у тому числі індивідуальні завдання
10 год. на підготовку до 2 контрольних робіт

1.6. Заплановані результати навчання

Згідно з вимогами освітньо-професійної (освітньо-наукової) програми студенти повинні досягти таких результатів навчання:

Знати: основні властивості надпровідників та основні методи рішення задач теорії надпровідності.

Вміти: теоретично описувати явища, пов'язані з надпровідністю, самостійно опрацьовувати як навчальну, так і спеціальну фахову, у тому числі і періодичну наукову літературу, здійснювати самоконтроль якості засвоєння теоретичних знань з використанням тестів.

Програмні результати навчання, що забезпечуються дисципліною ВК4 у відповідності до ОНП «Фізика»:

- ПРН 1. Використовувати концептуальні та спеціалізовані знання і розуміння актуальних проблем і досягнень обраних напрямів сучасної теоретичної і експериментальної фізики та/або астрономії для розв'язання складних задач і практичних проблем.
- ПРН 2. Проводити експериментальні та/або теоретичні дослідження з фізики та астрономії, аналізувати отримані результати в контексті існуючих теорій, робити аргументовані висновки (включаючи оцінювання ступеня невизначеності) та пропозиції щодо подальших досліджень.
- ПРН 3. Застосовувати сучасні теорії наукового менеджменту та ділового адміністрування для організації наукових і прикладних досліджень в області фізики та/або астрономії.
- ПРН 4. Обирати і використовувати відповідні методи обробки та аналізу даних фізичних та/або астрономічних досліджень і оцінювання їх достовірності.
- ПРН 5. Здійснювати феноменологічний та теоретичний опис досліджуваних фізичних та/або астрономічних явищ, об'єктів і процесів.
- ПРН 6. Обирати ефективні математичні методи та інформаційні технології та застосовувати їх для здійснення досліджень та/або інновацій в області фізики та/або астрономії.
- ПРН 9. Аналізувати та узагальнювати наукові результати з обраного напрямку фізики та/або астрономії, відслідковувати найновіші досягнення в цьому напрямі, взаємодіючи спілкуючись із колегами.
- ПРН 10. Відшуковувати інформацію і дані, необхідні для розв'язання складних задач фізики та/або астрономії, використовуючи різні джерела, зокрема, наукові видання, наукові бази даних тощо, оцінювати та критично аналізувати отримані інформацію та дані.
- ПРН 11. Застосовувати теорії, принципи і методи фізики та/або астрономії для розв'язання складних міждисциплінарних наукових і прикладних задач.

2. Тематичний план навчальної дисципліни

Розділ 1. МАГНІТНІ ТА ТЕРМОДИНАМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ НАДПРОВІДНИКІВ

Тема 1.1. Магнітні властивості надпровідників.

Тема 1.2. 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. ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРІЇ БКШ

Тема 3.1. Феномен Купера

Тема 3.2. Редукований гамільтоніан та пробна хвильова функція електронів

Тема 3.3. Обчислення енергетичної щільності при $T=0$.

Тема 3.4. Енергія основного стану.

Тема 3.5. Розподіл куперівських пар в основному стані.

Тема 3.6. Температурна залежність енергетичної щільності.

Тема 3.7. Квазічастинки у теорії БКШ

Тема 3.8. Густина станів квазічастинок.

Тема 3.9. Спектри квазічастинок для нормального металу та надпровідника

Розділ 6. НЕРІВНОВАЖНІ ЕФЕКТИ В НАДПРОВІДНИКАХ

Тема 4.1. Заряд квазічастинок в теорії БКШ.

Тема 4.2. Асиметрія спектру квазічастинок і електричне поле у надпровіднику.

Тема 4.3. Процеси релаксації у надпровідниках.

Тема 4.4. Андреевське відбиття.

Тема 4.5. Нерівноважне підсилення надпровідності.

Тема 4.6. Надлишковий опір границі NS.

Тема 4.7. Поглинання звуку у надпровідниках.

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. Магнітні властивості надпровідників	4	1				3						
Тема 1.2. Ентропія, теплоємність та вільна енергія надпровідників	4	1				3						
Разом за розділом 1	8	2				6						
Розділ 2 ЛІНІЙНА ЕЛЕКТРОДИНАМІКА НАДПРОВІДНИКІВ												
Тема 2.1. Рівняння Лондонів.	4	1				3						
Тема 2.2. Лондонівська глибина проникнення магнітного поля.	4	1				3						
Тема 2.3. Квантування магнітного потоку.	4	1				3						
Разом за розділом 2	12	3				9						
Розділ 3. ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРІЇ БКШ												
Тема 3.1. Феномен Купера.	3	1				2						
Тема 3.2. Редукований гамільтоніан та пробна хвильова функція електронів.	3	1				2						
Тема 3.3. Обчислення	5	2				3						

енергетичної щільності при $T=0$.												
Тема 3.4. Енергія основного стану.	5	2				3						
Тема 3.5. Розподіл куперівських пар в основному стані.	4	1				3						
Тема 3.6. Температурна залежність енергетичної щільності.	5	2				3						
Тема 3.7. Квазічастинки у теорії БКШ.	4	1				3						
Тема 3.8. Густина станів квазічастинок.	4	1				3						
Тема 3.9. Спектри квазічастинок для нормального металу та надпровідника.	3	1				2						
Разом за розділом 3	36	12				24						
Розділ 4. НЕРІВНОВАЖНІ ЕФЕКТИ В НАДПРОВІДНИКАХ												
Тема 4.1. Заряд квазічастинок в теорії БКШ.	4	1				3						
Тема 4.2. Асиметрія спектру квазічастинок і електричне поле у надпровіднику.	4	1				3						
Тема 4.3. Процеси релаксації у надпровідниках.	4	1				3						
Тема 4.4. Андреєвське відбиття.	3	1				2						
Тема 4.5. Нерівноважне підсилення надпровідності.	3	1				2						
Тема 4.6. Надлишковий опір границі NS.	3	1				2						
Тема 4.7. Поглинання звуку	3	1				2						

у надпровідниках.												
Разом за розділом 4	24	7				17						
					10	56						
Усього годин	90	24			Разом з інд. 66 год							

4. Теми семінарських (практичних, лабораторних) занять

Не передбачені навчальним планом

5. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
1	Застосувати вираз для температурної залежності магнітного поля для надпровідника до розрахунку струму, який тече по поверхні надпровідника в полосі заданої ширини.	3
2	Розрахувати ентропію, теплоємність та вільну енергію надпровідників у магнітному полі.	3
3	Опрацювати математичний розрахунок рівнянь Лондонів та зрозуміти їх фізичний сенс.	3
4	Розрахувати лондонівську глибину проникнення магнітного поля для тонкої плівки надпровідника. Знайти розподіл полів і струмів для пластини в поперечному магнітному полі.	3
5	Розрахувати значення кванту магнітного потоку для тонкостінного надпровідного циліндра з внутрішнім отвором.	3
6	Підготовка до контрольної роботи	5
7	Зробити оцінку розміру куперівської пари.	2
8	Вивчити оператори знищення та породження електронів, запис хвильової функції та гамільтоніану в формалізмі вторинного квантування.	2
9	Опрацювати розрахунок енергетичної щільності при $T=0$. Отримати співвідношення між критичною температурою і енергетичною щільністю при $T=0$ в теорії БКШ	3
10	Розрахувати значення критичного термодинамічного магнітного поля надпровідників.	3
11	Оцінити величину «розпливання» функції v_k^2 по енергії поблизу k_F .	3
12	Знайти спосіб вирішення рівняння для залежності енергетичної щільності від температури. Знайти приблизний вираз для залежності енергетичної щільності від температури поблизу критичної температури. Знайти співвідношення між величиною енергетичної щільності при $T=0$ та критичною температурою надпровідника. Знайти співвідношення між критичною температурою надпровідника та масою ізотопу.	3
13	Вивчити оператори Боголюбова-Валатіна та їх застосування.	3
14	Отримати вираз для густини станів в енергетичному спектрі надпровідника.	3
15	Оцінити відношення густини станів у спектрі збуджень надпровідника до густини станів електронів у нормальному металі поблизу рівня Фермі.	2

16	Підготовка до контрольної роботи	5
17	Засвоїти поняття про електрони та дірки в спектрі збуджень надпровідника.	3
18	Зробити чисельні оцінки електричного поля, яке виникає завдяки розбалансу заселеності гілок спектру елементарних збуджень у надпровіднику.	3
19	Вивчити процеси релаксації у надпровідниках.	3
20	Ознайомитися з процесом андреевського відбиття квазічастинок в області SN-границі.	2
21	Знайти і вивчити результати експериментів, які підтверджують нерівноважне підсилення надпровідності. Пояснити ці результати.	2
22	Оцінити величину надлишкового опору границі NS.	2
23	Оцінити величину поглинання звуку у надпровідниках згідно теорії БКШ.	2
	Разом	66

6. Індивідуальні завдання

2 індивідуальні контрольні роботи.

7. Методи контролю

- 7.1. Поточний контроль – опитування, перевірка домашніх завдань, 2 контрольні роботи.
 7.2. Семестровий підсумковий контроль – залік.

8. Схема нарахування балів

		Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання				Екзамен (залікова робота)	Сума
Розділ 1	Розділ 2	Розділ 3	Розділ 4	Контрольна робота, передбачена навчальним планом (2)	Разом		
Т 1.1. – Т 1.2.	Т 2.1 – Т 2.3	Т 3.1 – Т 3.9	Т 4.1 – Т 4.7	2 x 5 балів	40 балів	60 балів	100 балів
8 балів	8 балів	8 балів	6 балів				
30 балів				10 балів			

T1, T2 ... – теми розділів.

Критерії оцінювання

- 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).
- 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.
- Оцінка вміння застосовувати 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. I / А. В. Свідзинський // Луцьк : РВВ «Вежа» Волин. держ. ун-ту ім. Лесі Українки, 2001. — Ч. 1. — 254 с.
3. Свідзинський А. Мікроскопічна теорія надпровідності. II / 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: McGraw 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 \(wikipedia.org\)](#)