

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Кафедра фізики низьких температур

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Декан фізичного факультету

(вказати назву структурного підрозділу)

Бовк Руслан Володимирович

(вказати П.І.Б керівника)



“ ”

2023 р.

Робоча програма навчальної дисципліни

«Фізика слабозв'язаних надпровідників»

(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти магістр

галузь знань 10 природничі науки

(шифр, назва галузі)

спеціальність 104 Фізика та астрономія

(шифр, назва спеціальності)

освітньо-наукова програма «Фізика»

спеціалізація _____

(шифр, назва)

вид дисципліни нормативна

факультет фізичний

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою фізичного факультету

«30» серпня 2023 року, протокол № 6.


РОЗРОБНИК ПРОГРАМИ:

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

Програму схвалено на засіданні кафедри фізики низьких температур

Протокол від «29» серпня 2023 року № 16.

В.о. завідувача кафедри фізики низьких температур




(підпис) Валерій ШКЛОВСЬКИЙ
(ім'я та прізвище)

Програму погоджено методичною комісією фізичного факультету


Протокол від «29» серпня 2023 року № 7

Голова методичної комісії фізичного факультету



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

Гарант ОНП



(підпис) Юрій БОЙКО
(ім'я та прізвище)

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Кафедра фізики низьких температур

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Декан фізичного факультету

_____ (вказати назву структурного підрозділу)

Вовк Руслан Володимирович

_____ (вказати П.І.Б керівника)

“ _____ ” _____ 2023 р.

Робоча програма навчальної дисципліни

«Фізика слабозв’язаних надпровідників»

(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти магістр

галузь знань 10 природничі науки

(шифр, назва галузі)

спеціальність 104 Фізика та астрономія

(шифр, назва спеціальності)

освітньо-наукова програма «Фізика»

спеціалізація _____

(шифр, назва)

вид дисципліни нормативна

факультет фізичний

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою фізичного факультету

«30» серпня 2023 року, протокол № 6.

РОЗРОБНИК ПРОГРАМИ:

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

Програму схвалено на засіданні кафедри фізики низьких температур

Протокол від «29» серпня 2023 року № 16.

В.о. завідувача кафедри фізики низьких температур

_____ Валерій ШКЛОВСЬКИЙ
(підпис) (ім'я та прізвище)

Програму погоджено методичною комісією фізичного факультету

Протокол від «29» серпня 2023 року № 7

Голова методичної комісії фізичного факультету

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

Гарант ОНП

_____ Юрій БОЙКО
(підпис) (ім'я та прізвище)

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни «Фізика слабозв'язаних надпровідників» складена відповідно до освітньо-наукової програми підготовки магістрів
(назва рівня вищої освіти, освітньо-кваліфікаційного рівня)

Спеціальності 104 Фізика та астрономія
(шифр, назва спеціальності)

освітня програма «Фізика»

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Мета викладання навчальної дисципліни

Метою викладання навчальної дисципліни є формування у студентів сучасних уявлень про фізику слабозв'язаних надпровідників. Розглядаються основні теоретичні моделі слабозв'язаних надпровідників та їх основні властивості.

1.2. Основні завдання вивчення дисципліни

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

Програмні компетентності, що забезпечуються дисципліною ВК8 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. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.
- ЗК 2. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.
- 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 8. Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт.
- ЗК 9. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.
- ЗК 11. Здатність дотримуватися принципів академічної доброчесності.

Фахові компетентності:

- ФК 1. Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної фізики та астрономії.
- 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 нефхівцям.
- 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 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 працювати з джерелами навчальної та наукової інформації.
- 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 / за вибором	
Денна форма навчання	Заочна (дистанційна) форма навчання
Рік підготовки	
2-й	-й
Семестр	
4-й	-й
Лекції	
30 год.	год.
Практичні, семінарські заняття	
год.	год.
Лабораторні заняття	
год.	год.
Самостійна робота	
60 год.	год.
Індивідуальні завдання	
2 контрольні роботи – 10 годин, курсова робота - 10	

1.6. Заплановані результати навчання

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

Знати: основні властивості слабозв'язаних надпровідників та основні напрямки впровадження слабозв'язаних надпровідників і збудованих на їх основі приладах (в першу чергу, надпровідникових квантових інтерферометрів, або сквідів) в різноманітних галузях науки і техніки.

Вміти: моделювати явища, пов'язані з наявністю слабких зв'язків у просторово-неоднорідних надпровідниках та системах надпровідників, 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 ВК8 у відповідності до ОНП «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 4. Обирати і використовувати відповідні методи обробки та аналізу даних фізичних та/або астрономічних досліджень і оцінювання їх достовірності.
- 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 9. Аналізувати та узагальнювати наукові результати з обраного напрямку фізики та/або астрономії, відслідковувати найновіші досягнення в цьому напрямі, взаємокорисно спілкуючись із колегами.
- ПРН 10. Відшукувати 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. Вміти упорядковувати, тлумачити та узагальнювати одержані наукові та практичні результати, робити висновки.

2. Тематичний план навчальної дисципліни

Розділ 1. Ефекти Джозефсона.

Тема 1.1. Фазова когерентність у просторово-неоднорідних надпровідниках та системах надпровідників. Типи слабких зв'язків.

Тема 1.2. Двохрівнева модель контакту Джозефсона. Стационарний та нестационарний ефекти Джозефсона.

Тема 1.3. Резистивна модель контакту Джозефсона. Осциляції напруги. Спектр осциляцій. Вольт-амперна характеристика контакту з малою ємністю.

Тема 1.4. Тунельна модель контакту. Вольт-амперна характеристика тунельного контакту.

Тема 1.5. Контакт під впливом високочастотного випромінювання. Сходінки Шапіро на вольт-амперній характеристиці.

Розділ 2. Контакт Джозефсона у зовнішньому магнітному полі.

Тема 2.1. Електродинаміка контактів Джозефсона.

Тема 2.2. Двохрівнева модель контакту у магнітному полі.

Тема 2.3. Рівняння синус-Гордона та Феррелла-Прейнджа.

Тема 2.4. Резонансні моди в контактах. Сходинок Фіске на вольт – амперній характеристиці.

Тема 2.5. Джозефсонівські вихорі.

Тема 2.6. Кільця з одним та двома контактами. Одноконтактний та двохконтактний інтерферометри. Теорія двохконтактного інтерферометра.

Тема 2.7. Асиметричний інтерферометр. Ефект випрямлення напруги.

Розділ 3. Моделювання фізичних явищ у контактах Джозефсона.

Тема 3.1. Метод Рунге-Кутта інтегрування диференціальних рівнянь.

Тема 3.2. Моделювання контакту з малою ємністю згідно резистивної моделі. Вивчення появи сходинок Шапіро при дії зовнішнього випромінювання на контакт.

Тема 3.3. Моделювання квантових інтерферометрів та систем з багатьма контактами.

Тема 3.4. Синхронізація випромінювання багатьох контактів.

Тема 3.5. Моделювання резонансних мод та джозефсонівських вихорів у довгих контактах.

Розділ 4. Мікроскопічна теорія слабких зв'язків.

Тема 4.1. Граничні задачі та теорія Гінзбурга-Ландау.

Тема 4.2. Граничні умови на поверхні розділу.

Тема 4.3. Контакт надпровідника з діелектриком або вакуумом.

Тема 4.4. Контакт надпровідника з нормальним металом.

Тема 4.5. Контакт S-N-S'.

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. Ефекти Джозефсона.												
Тема 1.1. Фазова когерентність у слабких зв'язках та просторово-неоднорідних надпровідниках. Типи слабких зв'язків.	3	1				2						

Тема 1.2. Двохрівнева модель контакту Джозефсона. Стаціонарний та нестационарний ефекти Джозефсона.	3	1				2						
Тема 1.3. Резистивна модель контакту Джозефсона. Осциляції напруги. Спектр осциляцій. Вольт-амперна характеристика контакту з малою ємністю.	4	2				2						
Тема 1.4. Тунельна модель контакту. Вольт-амперна характеристика тунельного контакту.	3	1				2						
Тема 1.5. Контакт під впливом високочастотного випромінювання. Сходінки Шапіро на вольт-амперній характеристиці.	3	1				2						
Разом за розділом 1	16	6				10						
Розділ 2. Контакт Джозефсона у зовнішньому магнітному полі.												
Тема 2. 1 Електродинаміка контактів Джозефсона.	4	2				2						
Тема 2. 2. Двохрівнева модель контакту у магнітному полі.	3	1				2						
Тема 2. 3. Рівняння синус-Гордона та Феррелла-Прейнджа.	3	1				2						
Тема 2. 4. Резонансні моди в контактах. Сходінки Фіске на вольт – амперній характеристиці.	4	2				2						
Тема 2.5. Джозефсонівські вихорі.	3	1				2						
Тема 2.6. Квантування	4	2				2						

магнітного потоку. Кільця з одним та двома контактами. Одноконтактний та двохконтактний інтерферометри. Теорія двохконтактного інтерферометра.												
Тема 2.7. Асиметричний інтерферометр. Ефект випрямлення напруги.	4	2				2						
Разом за розділом 2	25	11				14						
Розділ 3. Моделювання фізичних явищ у контактах Джозефсона.												
Тема 3.1. Метод Рунге-Кутта інтегрування диференціальних рівнянь.	3	1				2						
Тема 3.2. Моделювання контакту з малою ємністю згідно резистивної моделі. Вивчення появи сходинок Шапіро при дії зовнішнього випромінювання на контакт.	2	1				1						
Тема 3.3. Моделювання квантових інтерферометрів та систем з багатьма контактами	2	1				1						
Тема 3.4. Синхронізація випромінювання багатьох контактів.	2	1				1						
Тема 3.5. Моделювання резонансних мод та джозефсонівських вихорів у довгих контактах.	2	1				1						
Разом за розділом 3	11	5				6						
Розділ 4. Мікроскопічна теорія слабких зв'язків.												
Тема 4.1. Граничні задачі та теорія Гінзбурга-Ландау.	3	1				2						

Тема 4.2. Граничні умови на поверхні розділу.	3	1			2						
Тема 4.3. Контакт надпровідника з діелектриком або вакуумом.	4	2			2						
Тема 4.4. Контакт надпровідника з нормальним металом.	4	2			2						
Тема 4.5. Контакт S-N-S'.	4	2			2						
Разом за розділом 4	18	8			10						
					20	40					
Усього годин	90	30			Разом з інд. 60 год						

5. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин	
1	Самостійно вивести рівняння для зв'язку фази надпровідника з квантовомеханічним струмом та вектор-потенціалом електромагнітного поля.	2	опитування
2	Виконати теоретичні розрахунки з отримання співвідношень Джозефсона методом Р. Фейнмана.	2	опитування
3	Вивчити резистивну модель джозефсонівського контакту. Зробити порівняльний аналіз теоретичної та експериментальної вольт-амперних характеристик джозефсонівських переходів.	2	опитування
4	Вивчити тунельну модель контакту та типову вольт-амперну характеристику тунельного контакту.	2	опитування
5	Опрацювати тему «Зворотній нестационарний ефект Джозефсона. Сходінки Шапіро».	2	опитування
6	Підготовка до контрольної роботи	5	контрольна робота
7	Розрахувати рівняння електродинаміки контактів Джозефсона для трьохвимірного випадку.	2	опитування
8	Порівняти результати двохрівневої моделі контакту у магнітному полі з результатами інших теорій.	2	опитування
9	Вивести рівняння синус-Гордона для моделі, в якій контакт представлений як довга лінія.	2	опитування
10	Розрахувати сходінки Фіске на вольт – амперній характеристиці типового довгого контакту.	2	опитування
11	Розрахувати рух джозефсонівського вихору в нескінченному контакті.	2	опитування
12	Вивести рівняння двохконтактного інтерферометра.	2	опитування
13	Змодельювати асиметричний інтерферометр та ефект	2	опитування

	випрямлення напруги.		
14	Вивчити метод Рунге-Кутта інтегрування диференційних рівнянь.	2	опитування
15	Змодельовати контакт з малою ємністю згідно резистивної моделі. Вивчити появу сходинок Шапіро при дії зовнішнього випромінювання на контакт.	1	опитування
16	Змодельовати одноконтактний інтерферометр.	1	опитування
17	Вивчити синхронізацію випромінювання багатьох контактів в ланцюгу з зовнішнім навантаженням.	1	опитування
18	Отримати сходинки Фіске та джозефсонівські вихорі в чисельній моделі довгого контакту.	1	опитування
19	Підготовка до контрольної роботи	5	контрольна робота
20	Вивчити постановку граничних задач в рамках теорії Гінзбурга-Ландау.	2	опитування
21	Ознайомитися з типами граничних умов на поверхні розділу.	2	опитування
22	Вивчити фізичні явища, які виникають при контакті надпровідника з діелектриком або вакуумом.	2	опитування
23	Проаналізувати ефекти, які виникають при контакті надпровідника з нормальним металом.	2	опитування
24	Ознайомитися з фізичними явищами, які виникають у контакті S-N-S'.	2	опитування
25	Підготовка курсової роботи	10	захист курсової роботи
	Разом	60	

6. Індивідуальні завдання

2 індивідуальні контрольні роботи, курсова робота

7. Методи контролю

7.1. Поточний контроль – опитування, консультації, 2 контрольні роботи, курсова робота;

7.2. Семестровий підсумковий контроль – екзамен.

8. Схема нарахування балів

для підсумкового семестрового контролю при проведенні семестрового екзамену

		Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання				Екзамен	Сума
Розділ 1	Розділ 2	Розділ 3	Розділ 4	Контрольна робота, передбачена навчальним планом (2), курсова робота	Разом		
Т 1.1. – Т 1.5.	Т 2.1 – Т 2.7	Т 3.1 – Т 3.5	Т 4.1 – Т 4.5	2 x 5 балів, 1 x 10 балів	40 балів	60 балів	100 балів
5 балів	5 балів	5 балів	5 балів				
20 балів				20 балів			

T1, T2 ... – теми розділів.

Критерії оцінювання

1. Оцінка рівня знань:
 - глибина і міцність знань про фізику надпровідності і фізику слабозв'язаних надпровідників; знання основних теоретичних моделей слабозв'язаних 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 (зокрема фізики слабозв'язаних надпровідників);
 - 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. 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. Довгий Я. Чарівне явище надпровідність. – Львів: Євросвіт, 2000.
5. Фізика низьких температур: навч. посібник / А. Франів, В. Стадник, В. Курляк. – Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2016. – 362 с.
6. 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. Радзівєвський, Л.В. Носонова. навч. посіб. - Суми: СумДУ, 2015. - 236 с.
6. Мазуренко Д.М. Електронна теорія речовини / К.: Вища школа, 1969. – 174 с.
7. Заячук Д. Нанотехнології і наноструктури: навч. посіб. / Д. М. Заячук. Львів: Вид-во «Львівська політехніка», 2009. – 580 с.

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

1. [Квант магнітного потоку — Вікіпедія \(wikipedia.org\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/Квант_магнітного_потoku)
2. [Квантовий вихор — Вікіпедія \(wikipedia.org\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/Квантовий_вихор)
3. [Ефект Джозефсона — Вікіпедія \(wikipedia.org\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/Ефект_Джозефсона)
4. [Рівняння Гінзбурга — Ландау — Вікіпедія \(wikipedia.org\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/Рівняння_Гінзбурга)