

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна  
Кафедра фізики низьких температур

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Проректор з науково-педагогічної  
роботи



2021 р.

Робоча програма навчальної дисципліни

«Основи фізики надпровідників. Локалізація і мезоскопічні ефекти в металах  
при низьких температурах»  
(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

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою фізичного факультету

«31» серпня 2021 року, протокол № 7.

РОЗРОБНИК ПРОГРАМИ:

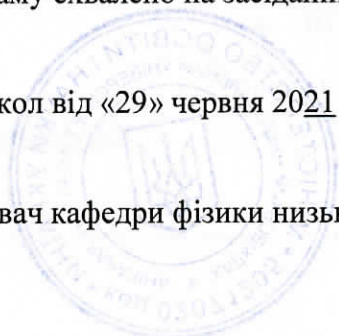
Шкловський Валерій Олександрович, доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри фізики низьких температур.


Орт Олександр Георгійович, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри фізики низьких температур.

Програму схвалено на засіданні кафедри фізики низьких температур

Протокол від «29» червня 2021 року № 17.

Завідувач кафедри фізики низьких температур

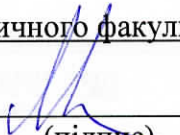


  
\_\_\_\_\_ Валерій ШКЛОВСЬКИЙ  
(підпис) (ім'я та прізвище)


Програму погоджено методичною комісією фізичного факультету

Протокол від «31» серпня 2021 року № 1

Голова методичної комісії фізичного факультету

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

Гарант ОП

  
\_\_\_\_\_ Олег ЛАЗОРЕНКО  
(підпис) (ім'я та прізвище)

## ВСТУП

Програма навчальної дисципліни «Основи фізики надпровідності. Локалізація і мезоскопічні ефекти в металах при низьких температурах» 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. Мета викладання навчальної дисципліни

Метою викладання навчальної дисципліни "Основи фізики надпровідності. Локалізація і мезоскопічні ефекти в металах при низьких температурах" є:

- 1) ґрунтовне вивчення студентами бакалаврату фізичного факультету надпровідних властивостей металів і сплавів, отримання теоретичних знань в галузі вивчення резистивних електронних властивостей металів мезоскопічних розмірів при низьких температурах;
- 2) опанування сучасних уявлень про фізику надпровідності, мікроскопічну та феноменологічну теорії надпровідності;
- 3) набуття студентами експериментальних і теоретичних навичок використання основних властивостей надпровідників першого та другого роду;
- 4) ознайомлення з характерними відмінними особливостями низькотемпературних та високотемпературних надпровідників;
- 5) ознайомлення з мезоскопічними ефектами в металах при низьких температурах;
- 6) складання уявлень про практичне використання мезоскопічних ефектів в сучасних технологіях.

#### 1.2. Основні завдання вивчення дисципліни:

1) сформувані у студентів фізичні уявлення щодо основних квантово-механічних законів, які обумовлюють існування надпровідного стану металів і сплавів, а також розглянути низку основних експериментальних методів, за допомогою яких були отримана більшість відомостей про надпровідні стани у металах, сплавах і ВТНП-сполуках;

2) ознайомити студентів з взаємозв'язками і взаємозалежностями між надпровідними властивостями і практичним використанням надпровідників у технічних пристроях;

3) сформувані у студентів фізичні уявлення щодо основних квантово-механічних законів, які обумовлюють існування локалізації і мезоскопічних ефектів у металевих зразках малого розміру при низьких температурах;

4) озглянути основні експериментальні факти, які підтвердили теоретичні ідеї у цій галузі квантової фізики металів;

5) ознайомити студентів з практичним використанням вказаних ефектів у мікро- і наноелектроніці.

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	
4-й	-й
Семестр	
7-й	-й
Лекції	
32 год.	год.
Практичні, семінарські заняття	
	год.
Лабораторні заняття	
	год.
Самостійна робота	
58 год.	год.
Індивідуальні завдання	
1 контрольна робота – 10 год.	

### 1.6. Заплановані результати навчання

Згідно з вимогами підготовки студентів за напрямом студенти повинні досягти таких результатів навчання:

**знати** : статистичні особливості , термодинамічні і кінетичні властивості металів при низьких температурах обумовлені вільними електронами, зокрема: електро- і теплопровідність, теплоємність металів і їх температурні залежності, основні механізми пружного та непружного розсіяння електронів та мати уявлення про типові значення енергії, імпульсу, швидкості та маси електронів провідності;

феноменологічні теорії надпровідності і основами мікроскопічної теорії надпровідності Бардіна-Купера-Шріффера. Студенти також отримують знання про основні властивості надпровідників I-го і II-го роду, та про основні напрямки впровадження надпровідників в різноманітних галузях науки та техніки. Набуті знання дозволяють студентам проводити самостійні дослідження на стадії виконання дипломних, а також дають необхідну базу для подальшого більш глибокого вивчення фундаментальних та прикладних аспектів фізики надпровідників;

**вміти** : вести та самостійно доповнювати конспекти лекцій, опрацьовувати як навчальну так і спеціальну фахову у тому рахунку і періодичну наукову літературу, здійснювати самоконтроль якості засвоєння теоретичних знань з використанням тестів.

## 2. Тематичний план навчальної дисципліни

### Розділ перший «Мезоскопічні ефекти в металах при низьких температурах»

**Тема 1. Загальна характеристика предмету курсу.**

**Тема 2. Проблема неупорядкованості в електропровідності невзаємодіючих електронів.**

**Тема 3. Класичні результати для електропровідності при низьких температурах.**  
Формула Друде і правило Матіссена, дифузія електрона у полі домішок.

**Тема 4. Природа квантових поправок до класичної дифузії електронів.**

Поняття збою фази квантового електрона. Обчислювання квантових поправок до провідності для невзаємодіючих електронів.

**Тема 5. Вплив магнітного поля на квантову інтерференційну поправку до провідності.**

**Тема 6. Ефекти квантового підсилення.**

Електрон-електронна взаємодія у неупорядкованих металах і обчислення їх впливу на щільність електронних станів та квантову поправку до провідності.

### **Розділ другий «Локалізація в металах при низьких температурах»**

**Тема 7. Андерсоновська локалізація.**

Сильна неупорядкованість та її наслідки у способу опису поведінки електронів, модель Андерсона та її фізичний аналіз –спочатку на прикладі двох- ямного потенціалу, а далі на основі машинних обчислювань.

**Тема 8. Скейлінгова теорія андерсоновської локалізації.**

**Тема 9. Стрибкова провідність неупорядкованого (андерсоновського) ізолятора.**

Випадки сильної та слабкої локалізації. Стрибкова провідність із змінною довжиною стрибка.

**Тема 10. Перколяційна електропровідність.**

Перколяційна електропровідність макронеоднорідних середовищ ( дисперсних композитів). Критичні індекси і фрактальний підхід в теорії перколяції.

**Тема 11.Мезоскопічні флуктуації.**

Універсальність мезоскопічних флуктуацій кондуктансу у зразках малих розмірів при низьких температурах. Практичні наслідки наявності універсальних флуктуацій кондуктансу для мікро- і наноелектроніки.

**Тема 12. Вплив магнітного поля на мезоскопічні флуктуації кондуктансу.**

Флуктуації вольт-амперної характеристики мезоскопічного зразка. Можливості появи мезоскопічних флуктуацій при переміщенні домішок у металічних зразках.

**Тема 13. Універсальні флуктуації кондуктансу і низькочастотний (флікерний) шум у металевих зразках**

### **Розділ третій «Основні властивості низькотемпературних надпровідників Феноменологічна лінійна електродинаміка надпровідників»**

**Тема 14. Основні властивості низькотемпературних надпровідників.**

Основні експериментальні факти про електромагнітні, теплові та структурні властивості надпровідників. Термодинаміка надпровідників.

**Тема 15. Локальна теорія надпровідників.**

Теорія Лондонів та її квантове узагальнення. Феноменологічна лінійна електродинаміка надпровідників.

**Тема 16. Мікроскопічна теорія надпровідності.**

Елементи мікроскопічної теорії надпровідності Бардина-Купера-Шриффера. Електрон-фононна взаємодія та феномен створення куперівських пар. Основний стан надпровідника та його спектр елементарних збуджень.

**Тема 17. Феноменологічна теорія надпровідності Гінзбурга-Ландау.**

Рівняння теорії Гінзбурга-Ландау. Характерні масштаби довжини в надпровідниках та ефект близкості. Енергія межі розділу між нормальною та над провідниковою фазами. Критичне поле та критичний струм тонкої плівки.

**Розділ четвертий «Слабка надпровідність і надпровідники другого роду»**

**Тема 18. Слабка надпровідність.**

Феномен слабкої надпровідності. Стационарний і нестационарний ефект Джозефсона. Рівняння Ферелла-Прейнджа. Джозефсонівські вихори.

**Тема 19. Надпровідники другого роду.**

Основи теорії Абрикосова. Магнітні властивості надпровідників другого роду. Взаємодія вихорів Абрикосова з транспортним струмом і з центрами піннінга.

**3. Структура навчальної дисципліни**

Назви розділів і тем	Кількість годин											
	денна форма						заочна форма					
	усього	у тому числі					усього	у тому числі				
		л	п	сем.	інд.	с. р.		л	п	лаб.	інд.	с. р.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<b>Розділ 1.</b>												
Тема 1.	3	1				2						
Тема 2.	3	1				2						
Тема 3.	3	1				2						
Тема 4.	3	1				2						
Тема 5.	3	1				2						
Тема 6	4	2				2						
Разом за розділом 1	19	7				12						
<b>Розділ 2.</b>												
Тема 7	4	2				2						
Тема 8.	3	1				2						
Тема 9.	3	1				2						
Тема 10.	4	2				2						
Тема 11	4	2				2						
Тема 12.	6	2				4						
Тема 13.	4	2				2						
Разом за розділом 2	28	12				16						
<b>Розділ 3.</b>												
Тема 14.	7	2				5						
Тема 15.	7	2				5						
Тема 16.	7	2				5						
Тема 17.	6	3				3						
Разом за розділом 3	27	9				18						
<b>Розділ 4.</b>												
Тема 18.	8	2				6						
Тема 19.	8	2				6						
Разом за розділом 4	16	4				12						
<b>Усього годин</b>	90	32				58						

#### 4. Теми семінарських занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
	Разом	

#### 5. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
Тема1.	Опанувати тему «Формула Друде і правило Матіссена»	3
Тема2.	Опрацювати тему «Невпорядкованість в електропровідності невзаємодіючих електронів»	3
Тема3.	За Інтернет-ресурсами дослідити дифузію електронів у зразках різної форми	3
Тема4	Начитися робити обчислювання квантових поправок до провідності для невзаємодіючих електронів.	3
Тема5.	Вивчити вплив магнітного поля на квантову у поправку до провідності	3
Тема 6	Проаналізувати електрон-електронну взаємодію у невпорядкованих металах	3
Тема 7	Ознайомитися з моделлю Андерсона та її фізичним аналізом	3
Тема8.	Проаналізувати Скейлінгову теорію андерсоновської локалізації.	3
Тема9.	Дослідити стрибкову провідність із змінною довжиною стрибка	3
Тема10	Опрацювати тему «Критичні індекси і фрактальний підхід в теорії перколяції»	3
Тема11	Проаналізувати універсальність мезоскопічних флуктуацій кондуктансу	2
Тема12	Дослідити флуктуації вольт-амперної характеристики мезоскопічного зразку	2
Тема13	Вивчити явище низькочастотного (флікерного) шуму у металевих зразках	2
Тема14	Навчитися визначати проміжний стан, зміни ентропії та теплоємності надпровідників першого роду різної форми при фазових переходах першого та другого роду.	2
Тема15	Опрацювати тему «Розподіл магнітного поля та струму в надпровідниковій пластині, що знаходиться в паралельному і поперечному однорідних магнітних полях. Модельна задача Леона Купера».	2
Тема16	Дослідити зв'язок мікроскопічної теорії надпровідності БКШ з феноменологічною теорією надпровідності Гінзбурга-Ландау. Зробити порівняльний аналіз двох феноменологічних теорій надпровідності – теорії Гінзбурга-Ландау та теорії Лондонов.	2
Тема17	Опрацювати тему «Критичне магнітне поле та критичний струм тонкої надпровідної плівки. Експериментальні вольт-амперні характеристики джозефсонівських переходів».	2
Тема18	Навчитися досліджувати експериментальні вольт-амперні характеристики джозефсонівських переходів. Проаналізувати особливості одноконтактного сквіду і умови створення та плавлення вихрових ґраток в надпровідниках другого роду.	2
Тема19	Опрацювати тему «Взаємодія вихорів Абрикосова з центрами піннінга в надпровідниках другого роду».	2
20	Підготуватися до контрольної роботи	10

Разом	58
-------	----

## 6. Індивідуальні завдання

Контрольна робота

## 7. Методи контролю

Поточний контроль – опитування, контрольна робота;  
підсумковий контроль – залік.

## 8. Схема нарахування балів

для підсумкового семестрового контролю при проведенні залікової роботи

Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання				Конт. роб.	Разом	Залікова робота	Сума
Розділ 1	Розділ 2	Розділ 3	Розділ 4				
Т. 1- 6	Т.7-13	Т.14-17	Т.18-19	5	40	60	100
8	8	11	8				
<b>35 балів</b>							

T1, T2 ... – теми розділів.

## Критерії оцінювання

### 1. Оцінка рівня знань:

- глибина і міцність знань про фізику надпровідності, фізику конденсованих середовищ і мезоскопічні явища в твердих тілах при низьких температурах; знання основних теоретичних моделей надпровідних матеріалів та їх основних властивостей; **знання** статистичних особливостей, термодинамічних і кінетичних властивостей металів при низьких температурах; знання основних механізмів пружного та непружного розсіяння електронів; ґрунтовні уявлення про значення параметри електронів провідності;
- рівень мислення та вміння синтезувати знання з тем (особливо з тем, які пропонуються для самостійного вивчення);
- вміння давати точні формулювання та правильно користуватись понятійним апаратом фізики надпровідності, локалізації носіїв та мезоскопічної фізики;
- культура відповіді (грамотність, логічність і послідовність викладу).

### 2. Оцінка навичок самостійної роботи;

- навички пошуку необхідної літератури теоретичного та експериментального характеру з галузі фізики надплинності і мезоскопіки;
- орієнтація в потоці інформації з обраної галузі та тематики;
- навички ведення записів (складання плану, конспекту, виступу);
- навички науково-пошукової роботи.

### 3. Оцінка вміння застосувати знання на практиці.

- виконання індивідуальних завдань (індивідуальних контрольних робіт).



### 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. Б.И.Шкловский, А.Л.Эфрос. Электронные свойства легированных полупроводников. - М.: Наука, 1979 г.
2. Н.Мотт, Э.Девис. Электронные процессы в некристаллических веществах, т. 1. - М.: Мир, 1974 г.
3. Эфрос А.Л. Физика и геометрия беспорядка / А.Л. Эфрос- М.: Наука, 1982.-175 с.
4. Шмидт В.В. Введение в физику сверхпроводников. М. : «Наука», Гл. ред. физ.-мат. лит.; 1971. – 320 с.
5. Шмидт В.В. Введение в физику сверхпроводников. Изд. 2-е. испр. и доп. Рязановым В.В. и Фейгельманом М.В. М.: МЦНМО, 2000. – 388 с.
6. Абрикосов А.А. Основы теории металлов. Учебное руководство. М. : «Наука», Гл. ред. физ.-мат. лит.; 1987. – 520 с.
7. Локтев В.М. Лекції з фізики надпровідників. Київ, 2008. – 276 с.
8. Свідзинський А.В., Вілігурський О.М. Лекції з фізики надпровідності. Луцьк: РВВ «Вежа» Волинського держ. ун-ту, 2003. – 82 с.
9. Пашицкий Э.А. Основы теории сверхпроводимости. Киев: «вища школа». Головное изд-во, 1985. – 103 с.
10. Шкловский В.А., Добровольский А.В. Пиннинг и динамика вихрей в сверхпроводниках. Учебное пособие. Харьков: ХНУ, 2015. - 120 с.
11. Тилли Д.Р., Тилли Дж. Сверхтекучесть и сверхпроводимость. М.: «Мир», 1977. – 304 с.
12. Роуз-Инс А., Родерик Е. Введение в физику сверхпроводимости. М.: «Мир», 1972. – 272 с.
13. Линтон Э. Сверхпроводимость. Изд. 2-е, испр. и доп. М.: «Мир», 1971. – 262 с.
14. Буккель В. Сверхпроводимость. Основы и приложения. М.: «Мир», 1975. – 366 с.
15. Тинкхам М. Введение в сверхпроводимость. М.: «Атомиздат», 1980. = 310 с.
16. Де Жен П. Сверхпроводимость металлов и сплавов. М.: «Мир». 1968. – 280 с.
17. Сан-Жам Д., Сарма Г., Томас Е. Сверхпроводимость второго рода. М.: «Мир». 1970. – 364 с.
18. Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. Теоретическая физика: Учебное пособие в 10-ти томах. Т. 9. Теория конденсированного состояния. М.: «Наука». Гл. ред. физ.-мат. лит.; 1978. – 448 с.

### Допоміжна література

1. В.А.Шкловский, В.И. Белецкий. Локализация и мезоскопические эффекты в металлах при низких температурах. Харків: ХНУ імені В.Н. Каразіна. - 2012. – 70 с.
2. Дмитренко І.М. Приборкання надпровідності. Київ: «Наукова Думка», 1974. – 208 с.
3. Дмитренко И.М. В мире сверхпроводимости. Київ: «Наукова Думка», 1981. – 196 с.
4. Дмитренко И.М. Квантовые эффекты в сверхпроводимости. М.: «Знание», 1968. – 48 с.
5. Ципенюк Ю.М. Физические основы сверхпроводимости. Учебное пособие по курсу общей физики МФТИ. Изд. 2-е, испр. и доп. М.: изд-во МФТИ, 2003. – 160 с.
6. Кресин В.З. Сверхпроводимость и сверхтекучесть. Изд. 2-е, перераб. М.: «Наука». Гл. ред. физ.-мат. лит.; 1978. – 191 с.
7. Кресин В.З. Макроскопические квантовые явления. М.: «Знание», 1976. – 64 с. (Новое в жизни, науке, технике. Серия «Физика», №8).
8. Асламазов Л.Г., Губанков В.Н. Слабая сверхпроводимость. М.: «Знание», 1982. – 64 с. (Новое в жизни, науке, технике. Серия «Физика», №4).
9. Лукьянчук И.А. Вихревые решетки. М.: «Знание», 1991. – 64 с. (Новое в жизни, науке, технике. Серия «Физика», №2).

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

1. [www/superconductors/org](http://www.superconductors.org)
2. [http://www.vargin.mephi.ru/book\\_ph\\_tvte1o.html](http://www.vargin.mephi.ru/book_ph_tvte1o.html)
3. [http://www.vargin.mephi.ru/book\\_phys.html](http://www.vargin.mephi.ru/book_phys.html)
4. [http://www.vargin.mephi.ru/book\\_ph-razn.html](http://www.vargin.mephi.ru/book_ph-razn.html)
5. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Мезоскопическая\\_физика](https://ru.wikipedia.org/wiki/Мезоскопическая_физика) [Translate this page](#)  
... слабая локализация, универсальные флуктуации проводимости, эффект ... Следует заметить, что согласно этому определению к мезоскопической ...
6. [www.pnn.unn.ru/studies/.../condensed\\_matter\\_additio...](http://www.pnn.unn.ru/studies/.../condensed_matter_additio...) [Translate this page](#)  
Интерференционная поправка к проводимости. Интерференционные эффекты в магнитном поле. Эффект Ааронова-Бома. Локализация. Мезоскопика.
7. [studopedia.org/9-45915.html](http://studopedia.org/9-45915.html) [Translate this page](#)  
Feb 18, 2015 - Основная особенность мезоскопических проводников состоит в ... особенности транспорта – так называемая слабая локализация и ...