

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Кафедра теоретичної фізики імені академіка І.М.ліфшиця



“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Декан факультету (директор  
навчально-наукового інституту)  
фізичний факультет

(вказати назву структурного підрозділу)

ВОВК Руслан Володимирович

(вказати П.І.Б керівника)

“30” 08 2023р.

Робоча програма навчальної дисципліни

Локалізація та мезоскопіка

(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти бакалавр

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 за вибором

(обов'язкова / за вибором)

факультет фізичний

2023 / 2024 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою фізичного факультету

“ 30 ” 08 2023 року, протокол № 6

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:

**Шкловський Валерій Олександрович , докт. фіз.-мат. наук, професор**

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 “ 28 ” 08 2023 року № 9

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/наукової) програми  
(керівник проектної групи) Лазоренко О.В.

  
(підпис)

Лазоренко О.В.  
(прізвище та ініціали)

Програму погоджено методичною комісією

фізичного факультету

назва факультету, для здобувачів вищої освіти якого викладається навчальна дисципліна

Протокол від “ 29 ” 08 2023 року № 7

Голова методичної комісії фізичного факультету

  
(підпис)

Макаровський М.О.  
(прізвище та ініціали)

## ВСТУП

Програма навчальної дисципліни «Локалізація та мезоскопіка» складена відповідно до освітньо-професійної (освітньо-наукової) програми підготовки першого рівню вищої освіти – бакалавр, спеціальності 104 – фізика та астрономія освітня програма – фізика

### 1. Опис навчальної дисципліни

#### 1.1. Мета викладання навчальної дисципліни

Метою викладання навчальної дисципліни “**Локалізація та мезоскопіка**” є отримання студентами теоретичних знань в галузі вивчення резистивних електронних властивостей металів мезоскопічних розмірів при низьких температурах.

#### 1.2. Основні завдання вивчення дисципліни

- сформувати у студентів фізичні уявлення щодо основних квантово-механічних законів, які обумовлюють існування локалізації і мезоскопічних ефектів у металевих зразках малого розміру при низьких температурах
- розглянути основні експериментальні факти, які підтвердили теоретичні ідеї у цій галузі квантової фізики металів.
- ознайомити студентів з практичним використанням вказаних ефектів у мікро- і наноелектроніці.

Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу (ЗК-1).

• Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях (ЗК-2).

• Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій (ЗК-3).

• Здатність бути критичним і самокритичним (ЗК-4).

• Здатність приймати обґрунтовані рішення (ЗК-5).

• Навички міжособистісної взаємодії (ЗК-6).

• Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт (ЗК-8).

• Визначеність і наполегливість щодо поставлених завдань і взятих обов’язків (ЗК-9).

• Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово (ЗК-12).

• Здатність спілкуватися іноземною мовою (ЗК-13).

• Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної фізики та астрономії (ФК-1).

• Здатність працювати із науковим обладнанням та вимірювальними приладами, обробляти та аналізувати результати досліджень (ФК-4).

• Здатність виконувати обчислювальні експерименти, використовувати чисельні методи для розв’язування фізичних та астрономічних задач і моделювання фізичних систем (ФК-5).

• Здатність моделювати фізичні системи та астрономічні явища і процеси (ФК-6).

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

• Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації (ФК-9).

• Здатність самостійно навчатися і опановувати нові знання з фізики, астрономії та суміжних галузей (ФК-10).

• Усвідомлення професійних етичних аспектів фізичних та астрономічних досліджень (ФК-12).

• Орієнтація на найвищі наукові стандарти - обізнаність щодо фундаментальних відкриттів та теорій, які суттєво вплинули на розвиток фізики, астрономії та інших

природничих наук. (ФК-13).

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

1.3. Кількість кредитів – 9.

1.4. Загальна кількість годин – 270.

1.5. Характеристика навчальної дисципліни	
За вибором	
Денна форма навчання	Заочна (дистанційна) форма навчання
Рік підготовки	
4-й	-й
Семестр	
7-й	-й
Лекції	
36 год.	год.
Практичні, семінарські заняття	
76 год.	год.
Лабораторні заняття	
96 год.	год.
Самостійна робота	
158 год. (10 год. на підготовку до 2-х контрольних робіт)	год.
Індивідуальні завдання	
Не передбачені навчальним планом	
Екзамен	

#### 1.6. Заплановані результати навчання

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

- опанувати поняття про статистичні особливості, термодинамічні і кінетичні властивості металів при низьких температурах обумовлені вільними електронами, вміти розраховувати електро- і теплопровідність, теплоємність металів і їх температурні залежності, основні механізми пружного та непружного розсіяння
- мати уявлення про типові значення енергії, імпульсу, швидкості та маси електронів провідності,
- 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.

*Програмні результати навчання, що забезпечуються дисципліною:*

- 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-1).

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

- Знати основні актуальні проблеми сучасної фізики та астрономії (ПРН-5).
- Оцінювати вплив новітніх відкриттів на розвиток сучасної фізики та астрономії (ПРН-6).
- Розуміти, аналізувати і пояснювати нові наукові результати, одержані у ході проведення фізичних та астрономічних досліджень відповідно до спеціалізації (ПРН-7).
- Мати базові навички самостійного навчання: вміти відшукувати потрібну інформацію в друкованих та електронних джерелах, аналізувати, систематизувати, розуміти, тлумачити та використовувати її для вирішення наукових і прикладних завдань (ПРН-8).
- Вміти упорядковувати, тлумачити та узагальнювати одержані наукові та практичні результати, робити висновки (ПРН-11).
- 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-13).
- 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-17).
- Розуміти значення фізичних досліджень для забезпечення сталого розвитку суспільства (ПРН- 22).
- Розуміти історію та закономірності розвитку фізики та астрономії (ПРН-23).
- Розуміти місце фізики та астрономії у загальній системі знань про природу і суспільство та у розвитку суспільства, техніки і технологій (ПРН-24).
- Мати навички самостійного прийняття рішень стосовно своїх освітньої траєкторії та професійного розвитку (ПРН-25).

## **2. Тематичний план навчальної дисципліни**

### **Розділ 1. Локалізація**

**Тема 1. Загальна характеристика предмета 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.

**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. Стрибова провідність неупорядкованого (андерсоновського) ізолятора.**

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

## Розділ 2. Мезоскопіка

**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**

## 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
<b>Розділ 1. Локалізація</b>												
Тема 1.	19	2		5		12						
Тема 2.	19	2		5		12						
Тема 3.	21	4		5		12						
Тема 4.	21	4		5		12						
Тема 5.	19	2		5		12						
Тема 6.	19	2		5		12						
Тема 7.	21	4		5		12						
Тема 8.	19	4		5		10						
Тема 9.	16	2		4		10						
Разом за розділом 1	174	26		44		104						
<b>Розділ 2. Мезоскопіка</b>												
Тема 10.	24	4		8		12						
Тема 11	24	2		8		14						
Тема 12.	24	2		8		14						
Тема 13	24	2		8		14						
Разом за розділом 2	96	10		32		54						
<b>Усього годин</b>	<b>270</b>	<b>36</b>		<b>76</b>		<b>158</b>						

## 4. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
-------	------------	-----------------

1	Трактовка термінів «локалізація» та «мезоскопіка». Слабка локалізація	5
2	Розрахунки електропровідності невзаємодіючих електронів	5
3	Вивод формули Друде та коефіцієнту дифузії електронів в полі домішок.	5
4	Обчислення електропровідності електронів з урахуванням квантування.	5
5	Дослідження впливу магнітного поля на електропровідність	5
6	Розрахунки щільності станів з урахуванням електрон-електронної взаємодії	5
7	Андерсонівська локалізація на прикладі двоямного потенціалу	5
8	Теорія скейлінгу	5
9	Перколяція та фрактали	4
10	Обчислення критичних індексів та фрактальний підхід в теорії перколяції	8
11	Обчислення впливу магнітного поля на вольт-амперні характеристики мезоскопічного зразка	8
12	Універсальні флуктуації кондуктансу	8
13	Флікерний шум: розрахунки для металевого зразка	8
	<b>Разом</b>	<b>76</b>

### 5. Завдання для самостійної роботи

Пояснення щодо того, що повинен зробити студент під час самостійної роботи.

1. По всім нижче вказаним темам опрацювати конспекти лекцій, прочитати відповідні параграфи в підручниках [1–4].
2. Самостійно підготуватися до участі у семінарських заняттях.  
Самостійно підготуватися до контрольної роботи.

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
Тема 1.	Загальна характеристика предметів локалізації та мезоскопіки	12
Тема 2.	Невпорядкованість в електропровідності невзаємодіючих електронів	12
Тема 3.	Формула Друде і правило Матіссена, дифузія електрона у зразку Обчислювання квантових поправок до провідності для невзаємодіючих електронів.	12
Тема 4.	Вплив магнітного поля на квантову у поправку до провідності Електрон-електронна взаємодія у невпорядкованих металах	12
Тема 5.	Вплив магнітного поля на квантову у поправку до провідності	12
Тема 6.	Модель Андерсона та її фізичний аналіз	12
Тема 7.	Скейлінгова теорія андерсоновської локалізації.	12
Тема 8.	Стрибова провідність із змінною довжиною стрибка	10
Тема 9.	Критичні індекси і фрактальний підхід в теорії перколяції	10
Тема 10.	Універсальність мезоскопічних флуктуацій кондуктансу	12
Тема 11.	Низькочастотний (флікерний) шум у металевих зразках	14
Тема 12.	Флуктуації вольт-амперної характеристики мезоскопічного зразка	14
Тема 13	Електрон-електронна взаємодія у невпорядкованих металах	14
	<b>Разом</b>	<b>158</b>

### 6. Індивідуальні завдання

Не передбачені навчальним планом.

## 7. Методи контролю

Поточне опитування, участь у семінарських заняттях, контрольна робота.

## 8. Схема нарахування балів

Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання				Екзамен	Сума
Розділ 1	Розділ 2	Контрольні роботи (дві), передбачені навчальним планом	Разом		
T1-T9	T10-T13				
20	20	10+1-	60	40	100

Для зарахування розділу 1 та розділу 2 треба набрати у підсумку не менше 10 балів за результатами поточного опитування та участі у семінарських заняттях за кожний з розділів. Для зарахування контрольної роботи треба набрати у підсумку не менше 10 балів. Для допуску до письмового екзамену треба набрати у підсумку не менше 30 балів.

### Примітка.

1. Оцінка, яку отримує студент за кожну тему відповідає відсоткові правильного виконання поставленого завдання. Завдання вважається виконаним правильно, коли студент самостійно дав повну, вірну та вичерпну відповідь, не користуючись жодними зовнішніми джерелами інформації або підказками інших осіб, а також може (в разі необхідності) дати *прилюдне вірне, повне та вичерпне пояснення* щодо змісту цієї відповіді

2. У разі виявлення факту **академічної недоброчесності** із боку студента під час перевірки курсової роботи оцінка за неї **повинна бути зменшена до 0** (пункт 7.12.5 «Положення про організацію освітнього процесу в ХНУ імені В. Н. Каразіна», наказ ректора № 0202-1/155 від 21.04.2017 р.).

3. До підсумкового семестрового контролю (екзамену) допускається студент денної форми навчання, який створив повний **рукописний** конспект лекцій, написав контрольну роботу та набрав не менш, ніж **30 балів**.

4. У разі виявлення факту **академічної недоброчесності** із боку студента під час іспиту його екзаменаційна оцінка **повинна бути зменшена до 0**, а сам студент **має бути видалений з аудиторії**, до проводиться іспит (пункт 7.12.5 «Положення про організацію освітнього процесу в ХНУ імені В. Н. Каразіна», наказ ректора № 0202-1/155 від 21.04.2017 р.).

Екзаменаційний білет складається з двох теоретичних питань. Масимальна оцінка за кожне з питань 20 балів. Масимальна оцінка за екзамен – 40 балів.

### Критерії оцінювання письмової екзаменаційної роботи

Екзаменаційний білет складається з трьох теоретичних питань. Кожне питання оцінюється в 20 балів. У відповіді на теоретичні питання студент повинен продемонструвати знання теорії навчальної дисципліни «Фізична кінетика» та її понятійно-категоріального апарату, термінології, понять і принципів предметної області дисципліни.

Максимальні бали виставляються в разі чіткої, логічної, послідовної відповіді на поставлене питання, з виводами основних формул, формулюванням фізичних законів

У процесі оцінювання теоретичних завдань екзаменаційного білету враховуються:

- повнота розкриття питання (4 бали);
- уміння чітко формулювати визначення фізичних понять, термінів та пояснювати їх (4 бали);
- здатність аргументувати отриману відповідь (4 бали);
- здатність робити аналітичні міркування, порівняння, формулювання висновків (4 бали);



– логічна послідовність викладення матеріалу у відповіді на завдання (4 бали).

Відповідь має бути обґрунтованою, з посиланням на відповідні фізичні закони та рівняння, з послідовними розрахунками всіх основних формул, доведеними до кінцевого результату з чіткою відповіддю на поставлене питання. За рішення задачі (практичного завдання) нараховуються такі бали:

1. Повна та послідовно обґрунтована відповідь отримує оцінку 20 балів у випадку, коли студент отримав правильну відповідь і продемонстрував метод і спосіб її отримання.
2. Оцінка 12-19 балів виставляється за відповідь, в якій є несуттєві похибки в логіці викладу,
3. Відповідь на питання отримує оцінку 7-11 балів, коли студент не отримав правильну відповідь або написав тільки кінцеву формулу без пояснень та виводу.
4. Відповідь на питання отримує оцінку 0-10 балів, коли студент не отримав правильну відповідь, причому метод і спосіб розв'язання завдання були не вірними.

**Екзамен зданий, якщо сумарна оцінка за письмову екзаменаційну роботу не менше 30 балів, а сумарний підсумковий бал не менше 50 балів.**

#### Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка за національною шкалою	
	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. Локтев В.М. Лекції з фізики надпровідників. Київ, 2008. – 276 с.
2. Свідзинський А.В., Вілігурський О.М. Лекції з фізики надпровідності. Луцьк: РВВ «Вежа» Волинського держ. ун-ту, 2003. – 82 с.
3. Шкловський В.О., Добровольський О.В. Піннінг і динаміка вихорів в надпровідниках. Навчальний посібник. Харків: ХНУ, 2017. - 120 с.
4. Болеста І.М. Фізика твердого тіла. Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 1998. – 615 с.
5. Mott N.F., Davis E.A. Electronic Processes in Non-Crystalline Materials. Oxford University Press, 1979.

#### Допоміжна література

1. Abrikosov A. Fundamentals of the Theory of Metals. Mineola, New York: Courier Dover Publications Inc., 2017.
2. Kittel, Charles: Introduction to Solid State Physics. 7. Aufl. New York: Wiley, 1996
3. Третяк О.В., Лозовський В.З. Основи фізики напівпровідників: Підручник: У 2 т. – К.: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2007. – Т. 1. – 338 с.

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

[https://en.wikipedia.org/wiki/Anderson\\_localization](https://en.wikipedia.org/wiki/Anderson_localization)