

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра теоретичної фізики імені академіка І.М.Ліфшиця

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Проректор з науково-педагогічної роботи ХНУ імені В.Н.Каразіна



2019 р.

Робоча програма навчальної дисципліни

Вибрані розділи сучасної теоретичної фізики

(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти _____ доктор філософії _____
галузь знань _____ 10 – природничі науки _____
(шифр і назва)
спеціальність _____ 104 – фізика та астрономія _____
(шифр і назва)
освітня програма _____ освітньо-наукова фізика _____
(шифр і назва)
спеціалізація _____
(шифр і назва)
вид дисципліни _____ обов'язкова _____
(обов'язкова / за вибором)
факультет _____ фізичний _____

2019/2020 навчальний рік

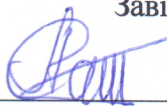
Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою фізичного факультету

“ 21 ” 06 2019 року, протокол № 6

Розробники програми: Шкловський Валерій Олександрович, доктор фіз.-мат. наук, професор кафедри теоретичної фізики імені академіка І.М. Ліфшиця; Рашба Георгій Ілліч, канд. фіз.-мат. наук, доцент, в. о. завідувача кафедри теоретичної фізики імені академіка І.М. Ліфшиця.

Протокол від “ 10 ” 06 2019 року № 9

Завідувач кафедри теоретичної фізики імені академіка І.М.Ліфшиця



(підпис)

Рашба Г.І.

(прізвище та ініціали)

Програму погоджено методичною комісією

фізичного факультету

назва факультету, для здобувачів вищої освіти якого викладається навчальна дисципліна

Протокол від “ 20 ” 06 2019 року № 6

Голова методичної комісії фізичного факультету



(підпис)

Макаровський М.О.

(прізвище та ініціали)

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни «Вибрані глави теоретичної фізики: Динаміка вихорів і пінінг у надпровідниках II роду» укладена відповідно до (освітньо-наукової) програми підготовки фахівців третього рівня вищої освіти
(назва рівня вищої освіти, освітньо-кваліфікаційного рівня)

напряму

спеціальності 104 Фізика та астрономія

Спеціалізації

1. Опис навчальної дисципліни

Мета викладання навчальної дисципліни «Вибрані глави теоретичної фізики: Пінінг і динаміка вихорів у надпровідниках II роду» є отримання властивостей надпровідникових металів при низьких температурах.

1.2. Основні завдання вивчення дисципліни

Основними завданнями вивчення дисципліни «Пінінг і динаміка вихорів у надпровідниках II роду» є:

- сформуувати у аспірантів фізичні уявлення щодо основних теоретичних положень про резистивні властивості надпровідників другого роду при низьких температурах;
- розглянути основні експериментальні факти, які підтвердили теоретичні ідеї у цій галузі фізики надпровідності;
- ознайомити аспірантів з практичним використанням вищезгаданих ефектів у мікро- і наноелектроніці.
- ознайомити аспірантів з методикою теоретичного вивчення надпровідності стосовно її використання для вивчення вихорової матерії, її динаміки і пінінгу у надпровідниках другого роду.
- ознайомити аспірантів з методологією наукової творчості у галузі фізики надпровідності, яка пройшла шлях від методу проб та помилок до теорії цілеспрямованого розв’язування складних наукових задач і проблем.

1.3. Кількість кредитів 5.

1.4. Загальна кількість годин 150.

1.5. Характеристика навчальної дисципліни

Нормативна	
Вид кінцевого контролю: залік	
Денна форма навчання	Заочна (дистанційна) форма навчання
Рік підготовки	
2-й	-й
Семестр	
2-й	-й

Лекції	
30 год.	год.
Практичні, семінарські заняття	
год.	год.
Лабораторні заняття	
год.	год.
Самостійна робота	
120 год.	год.
Індивідуальні завдання	
год.	

1.6. Заплановані результати навчання.

- здатність продемонструвати глибинні професійні знання, науковий і культурний кругозір рівня здобувача наукового ступеня доктора філософії, зокрема шляхом засвоєння узагальнення та систематизації знань та основних концепцій, теоретичних та практичних проблем фізики надпровідності стосовно динаміки вихорової матерії;
- здатність ефективно використовувати набуті у результаті вивчення навчальної дисципліни компетентності, знання, уміння та навички для того, щоб у процесі майбутньої роботи на посадах науково-педагогічних працівників – викладачів фізики та астрономії вміло та аргументовано доводити до студентів необхідну інформацію і уявлення про місце тих чи інших аспектів фізики надпровідності та формувати у них природничо-науковий світогляд і систематичні уявлення про загальну картину світу;
- здатність використовувати знання щодо основних принципів та положень теоретичної та практичної методології наукової творчості при розв'язуванні конкретних завдань при визначенні життєвої стратегії своєї творчої діяльності, спрямованої на проведення експериментальних та теоретичних наукових досліджень у галузі сучасної фізики і астрономії, зокрема у теорії надпровідності.

2. Тематичний план навчальної дисципліни

Розділ 1. Вступ до курсу.

Тема 1. Загальна характеристика предмета курсу.

Тема 2. Основні експериментальні факти у надпровідності.

Тема 3. Дворідинна модель надпровідника і довжина когерентності.

Тема 4. Рівняння Лондонів і глибина проникнення магнітного поля.

Тема 5. Поверхнева енергія N-S межі. Надпровідники першого та другого роду.

Розділ 2. Вихор та його властивості.

Тема 1. Енергія і магнітний момент вихоря.

Тема 2. Магнітне поле вихоря.

Тема 3. Взаємодія вихорів між собою.

Тема 4. Взаємодія вихоря з поверхнею надпровідника.

Тема 5. Динамічні властивості вихорів.

Розділ 3. Ефект Холла.

Тема 1. Рівняння руху вихоря з урахуванням ефекту Холла.

Тема 2. Подовжня і холлівська напруга: їх парність стосовно відношення до інверсії магнітного поля. Кут Холла.

Тема 3. Тензор електропровідності у магнітному полі.

Тема 4. Обчислення тензора електропровідності у моделі Друде.

Тема 5. Отримання мікроскопічних формул для холлівської і повздожньої в'язкості вихоря та їх аналіз у випадку «чистого» і «брудного» надпровідника.

Розділ 4. Пінінг вихорів у надпровідниках.

Тема 1. Поняття пінінгу вихорів і критичного струму у надпровідниках другого роду.

Тема 2. Фізична природа пінінга.

- Тема 3. Вплив пінінга на ВАХ надпровідника.
Тема 4. Обчислення вольт-амперової характеристики (ВАХ) для найпростішої моделі пінінга у надпровіднику при нульовій температурі.
Тема 5. Вплив температури на ВАХ. Кріп вихорів.
Розділ 5. Холл-ефект і спрямований рух вихорів у надпровідниках.
Тема 1. Загальні твердження про вплив односпрямованих плоских дефектів на резистивні властивості ВТНП.
Тема 2. Обчислення середньої швидкості вихоря у потенціалі пінінга.
Тема 3. Обчислення ВАХ двовимірної динаміки вихорів.
Тема 4. Аналіз парних та непарних (стосовно інверсії магнітного поля) відгуків.
Тема 5. Взаємовплив спрямованого руху вихорів та ефекта Холла.
Розділ 6. Сильний пінінг на хаотично розташованих дефектах.
Тема 1. Вступні міркування про два сценарія реалізації пінінга вихорів на хаотично розташованих дефектах.
Тема 2. Аналіз залежності середньої сили пінінга від координати вихоря.
Тема 3. Многозначні режими та стрибки координат і енергії вихоря.
Тема 4. Обчислення критичного струму з використанням теорії фазових перетворень Ландау.
Розділ 7. Колективний пінінг.
Тема 1. Основна ідея та оцінка густини критичного струму при нульовій температурі.
Тема 2. Кріп окремого вихоря для струму значно менше критичного і скінченної температури.
Тема 3. Пружні модулі вихорової ґратки.
Тема 4. Обчислення кореляційного об'єму і критичний струм для трьохвимірного випадку (теорія Ларкіна-Овчиннікова).
Тема 5. Колективний пінінг для двовимірному випадку.
Тема 6. Порівняння результатів теорії індивідуального та колективного пінінга.
Розділ 8. Рівноважна анізотропія пінінга вихорів на односпрямованих двійниках у YBCO та її резистивні вимірювання.
Тема 1. Експерименти Аргонської групи по пінінгу вихорів на двійниках.
Тема 2. Критичний кут при пінінгу вихорів на двійниках.
Тема 3. Кутова залежність критичного струму при пінінгу вихорів на двійниках.
Тема 4. Кріп вихорів при пінінгу вихорів на двійниках.
Розділ 9. Реакція надпровідника на змінне електромагнітне поле.
Тема 1. Комплексна провідність надпровідника.
Тема 2. Нормальний скін-ефект у надпровіднику.
Тема 3. Поверхневий імпеданс металу.
Тема 4. Поверхневий імпеданс надпровідника.
Розділ 10. Динаміка вихорів на змінному струмі.
Тема 1. Поглинання потужності при надвисоких частотах.
Тема 2. Вплив постійного струму на частоту депінінга.
Тема 3. Відновлення потенціалу пінінга.

3. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів	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. Вступ до курсу.												
Разом за розділом 1.	15	3				12						
Розділ 2. Вихор та його властивості.												
Разом за розділом 2.	15	3				12						
Розділ 3. Ефект Холла.												
Разом за розділом 3.	15	3				12						
Розділ 4. Пінінг вихорів у надпровідниках.												

Разом за розділом 4.	15	3			12						
Розділ 5. Холл-ефект і спрямований рух вихорів у надпровідниках.											
Разом за розділом 5.	15	3			12						
Розділ 6. Сильний пінінг на хаотично розташованих дефектах.											
Разом за розділом 6.	15	3			12						
Розділ 7. Колективний пінінг.											
Разом за розділом 7.	15	3			12						
Розділ 8. Рівноважна анізотропія пінінга вихорів на односпрямованих двійниках у YBCO та її резистивні вимірювання.											
Разом за розділом 8.	15	3			12						
Розділ 9. Реакція надпровідника на змінне електромагнітне поле.											
Разом за розділом 9.	15	3			12						
Розділ 10. Динаміка вихорів на змінному струмі.											
Разом за розділом 10.	15	3			12						
Усього годин	150	30			120						
Разом											

4. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
1.	Самостійне опрацювання навчально-методичних посібників та вивчення матеріалу за темами 1 розділу.	12
2.	Самостійне опрацювання навчально-методичних посібників та вивчення матеріалу за темами 2 розділу.	12
3.	Самостійне опрацювання навчально-методичних посібників та вивчення матеріалу за темами 3 розділу.	12
4.	Самостійне опрацювання навчально-методичних посібників та вивчення матеріалу за темами 4 розділу.	12
5.	Самостійне опрацювання навчально-методичних посібників та вивчення матеріалу за темами 5 розділу.	12
6.	Самостійне опрацювання навчально-методичних посібників та вивчення матеріалу за темами 6 розділу.	12
7.	Самостійне опрацювання навчально-методичних посібників та вивчення матеріалу за темами 7 розділу.	12
8.	Самостійне опрацювання навчально-методичних посібників та вивчення матеріалу за темами 8 розділу.	12
9.	Самостійне опрацювання навчально-методичних посібників та вивчення матеріалу за темами 9 розділу.	12
10.	Самостійне опрацювання навчально-методичних посібників та вивчення матеріалу за темами 10 розділу.	12
	Разом	120

6. Методи контролю

Поточний та семестровий підсумковий контроль: залік

7. Схема нарахування балів

Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання, екзаменаційна робота						Сума
Розділ 1.	Розділ 2.	Розділ 3.	Розділ 4.	Розділ 5.	Залікова робота	100
T1÷T5	T1÷T5	T1÷T5	T1÷T5	T1÷T5	50	
10	10	10	10	10		
Розділ 6.	Розділ 7.	Розділ 8.	Розділ 9.	Розділ 10.		
T1÷T4	T1÷T6	T1÷T4	T1÷T4	T1÷T3		

T1, T2 ... – теми розділів.

8. Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка	
	для екзамену	для заліку
90 – 100	відмінно	зараховано
70-89	добре	
50-69	задовільно	
1-49	незадовільно	не зараховано

9. Рекомендована література

- [1] В. В. Шмидт. Введение в физику сверхпроводников. — Изд.2-е, испр.и доп. М. МЦНМО, 2000.
- [2] А. А. Абрикосов. Основы теории металлов.— М.: Наука, 1987 г.
- [3] Ландау Л.Д. Электродинамика сплошных сред / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М.: Наука, 1982. 621 с.
- [4] M. Tinkham. *Introduction to Superconductivity*. Mineola, New York, 2004.
- [5] G. Blatter, M. V. Feigel'man, V. B. Geshkenbein, A. I. Larkin, and V. M. Vinokur. Vortices in high-temperature superconductors. *Rev. Mod. Phys.*, **66** (1994) 1125.
- [6] A. I. Larkin. Effect of inhomogeneities on the structure of the mixed state of superconductors. *Sov. Phys. JETP*, **31** (1970) 784.
- [7] D. N. Langenberg and A. I. Larkin, eds. *Nonequilibrium Superconductivity*, ch. 11 "Vortex motion in superconductors" by A. I. Larkin and Y. N. Ovchinnikov, pages 493–542. Elsevier, 1986.
- [8] A. I. Larkin and Yu. N. Ovchinnikov. Pinning in type II superconductors. *J. Low Temp. Phys.*, **34** (1979) 409.
- [9] G. Blatter, V. B. Geshkenbein, and J. A. G. Koopmann. Weak to strong pinning crossover. *Phys. Rev. Lett.*, **92** (2004) 067009.
- [10] A. M. Campbell and J. E. Evetts. Flux vortices and transport currents in type II superconductors. *Adv. Phys.*, **21** (1972) 199.
- [11] E. H. Brandt. The flux-line lattice in superconductors. *Rep. Progr. Phys.*, **58** (1995) 1465.
- [12] V.V. Moshchalkov *Nanoscience and Engineering in Superconductivity*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2010. – 398 p.
- [13] V. V. Moshchalkov *Nanostructured Superconductors*. World Scientific, Singapore, 2011. – 299 p.
- [14] H. Rogalla and P. H. Kes, eds. *100 Years of Superconductivity*. Taylor & Francis, 2011.
- [15] Shklovskij V.A., Dobrovolskiy O. V. Microwave absorption by vortices in superconductors with a washboard pinning potential in book *Superconductors – Materials, Properties and Applications – R.*, 2012. – P. 263-288.

- [16] V. A. Shklovskij and O. V. Dobrovolskiy. *Microwave Absorption by Vortices in Superconductors with a Washboard Pinning Potential*, ch. 11, pages 263–288.
- [17] W. K. Kwok, U. Welp, V. M. Vinokur, S. Fleshler, J. Downey, and G. W. Crabtree. Direct observation of intrinsic pinning by layered structure in single-crystal YBaCuO_{7-d} . *Phys. Rev. Lett.*, **67** (1991) 390.
- [18] G. Blatter, J. Rhyner, and V. M. Vinokur. Vortex pinning by twin boundaries in copper oxide superconductors. *Phys. Rev. B*, **43** (1991) 7826.
- [19] M. A. Obolenskii, A. V. Bondarenko, M. G. Revyakina, and V. A. Shklovskij. Critical current anisotropy at the vortices pinning on twins in $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-d}$ single crystals. *Supercond. Phys. Chem. Technol.*, **7** (1994) 43.
- [20] V. A. Shklovskij. Nonlinear flux creep resistivity and anisotropy of transport critical current in YBaCuO single crystals with unidirected twins. *Physica C*, **235–240** (1994) 3051.
- [21] J. I. Gittleman and B. Rosenblum. Radio-frequency resistance in the mixed state for subcritical currents. *Phys. Rev. Lett.*, **16** (1966) 734.
- [22] В.О.Шкловський, О.В.Добровольський. «Пінінг і динаміка вихорів у надпровідниках». Харків: ХНУ імені В.Н. Каразіна. – 2015. – 124 с.