

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Східноєвропейський національний університет імені Лесі Українки

Кафедра теоретичної та математичної фізики

Затверджено

Проректор з наукової роботи та
інновацій

проф. Бояр А.О.

«23» 06 2016 р.



Затверджено

Проректор з науково-педагогічної і
навчальної роботи та рекрутації

проф. Гаврилюк С. В.

«23» 06 2016 р.

ФІЗИКА КОНДЕНСОВАНОГО СТАНУ

РОБОЧА ПРОГРАМА

нормативної навчальної дисципліни

підготовки

доктора філософії (PhD)

галузі знань

10 Природничі науки

спеціальності

104 Фізика та астрономія

Луцьк – 2016

Робоча програма навчальної дисципліни «Фізика конденсованого стану» для підготовки доктора філософії (PhD) із галузі знань 10 Природничі науки, за спеціальністю 104 Фізика та астрономія.

” ____ ” _____ 2016 р. – 10 с.

Розробники:

Сахнюк Василь Євгенович, доцент кафедри теоретичної та математичної фізики, кандидат фізико-математичних наук

Рецензент:

Федосов Сергій Анатолійович, професор, завідувач кафедри експериментальної фізики та інформаційно-вимірювальних технологій, доктор фізико-математичних наук, доцент

Робоча програма навчальної дисципліни затверджена на засіданні кафедри теоретичної та математичної фізики

протокол № 9 від 28. 05 . 2016 р.

Завідувач кафедри: _____ (Свідзинський А.В.)

Робоча програма навчальної дисципліни схвалена науково-методичною комісією факультету інформаційних систем, фізики та математики

протокол № 10 від 08. 06 , 2016 р.

Голова науково-методичної комісії факультету _____ (Полетило С. А.)

Робоча програма навчальної дисципліни схвалена науково-методичною радою університету

протокол № 10 від 15. 06 , 2016 р.

Робоча програма навчальної дисципліни схвалена науковою радою університету

протокол № 11 від 16. 06 . 2016 р.

© Сахнюк В.Є., 2016

1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Таблиця 1

Найменування показників	Галузь знань, напрям підготовки, освітній рівень	Характеристика навчальної дисципліни
		Денна форма навчання
Кількість кредитів – 6	10 Природничі науки 104 Фізика та астрономія	нормативна
Модулів – 3	Доктор філософії (PhD)	Рік підготовки – 2
Змістових модулів – 2		Семестр – 4
ІНДЗ: нема		Лекції – 44 год.
Загальна кількість годин – 180		Практичні (семінари) – 20 год.
Тижневих годин: аудиторних – 4		Самостійна робота – 116 год.
самостійної роботи – 7,25		Форма контролю – екзамен 4 семестр

2. МЕТА ТА ЗАВДАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

2.1. Метою викладання навчальної дисципліни «Фізика конденсованих систем» є поглиблення і розширення теоретичних знань та формування практичних умінь пов'язаних із фізикою нормальних металів та надпровідників, розгляд загальної концепції квазічастинок в фізиці конденсованого стану речовини, побудова мікроскопічної теорії надпровідності та її асимптотичної форми поблизу критичної температури – теорії Гінзбурга-Ландау.

2.2. Основними завданнями вивчення дисципліни «Фізика конденсованих систем» є:

- ознайомлення з основними типами конденсованих середовищ та визначення ролі структурних одиниць в їх формуванні;
- напрацювання практичних навичок опису збуджених станів в конденсованих середовищах, використовуючи квазічастинкові методи;
- напрацювання практичних навичок використання основних рівнянь теорії надпровідності для опису властивостей надпровідників.

2.3. Згідно з вимогами освітньо-наукової програми здобувачі доктора філософії (PhD) повинні:

знати:

- основні типи конденсованих середовищ;
- принципи формування конденсованих середовищ;
- поняття про квазічастинки;
- типи міжчастинкових взаємодій в конденсованих середовищах;
- модель фермі-рідини;
- варіаційний принцип Боголюбова;
- канонічні перетворення, поняття про щілину в спектрі квазічастинкових збуджень;
- рівняння Боголюбова та рівняння Горькова;
- ефекти фазової когерентності в просторово неоднорідних надпровідних композиціях.

вміти:

- описувати структуру конденсованих середовищ;
- описувати збуджені стани в конденсованих середовищах;
- описувати зонну структуру твердих тіл;
- будувати поверхню Фермі;
- виконувати канонічні перетворення;
- розв'язувати рівняння для щілини;
- представляти статистичну суму надпровідника у формі функціонального інтеграла;
- виконувати канонічні перетворення в просторово неоднорідному випадку;
- використовувати метод функцій Гріна для опису надпровідника;

- використовувати теорію Гінзбурга-Ландау для опису просторово неоднорідних надпровідних композицій.

На вивчення навчальної дисципліни відводиться 180 годин / 6 кредитів ECTS.

3. ІНФОРМАЦІЙНИЙ ОБСЯГ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1

Квазічастинки в конденсованих середовищах та їх характеристика. Елементарні збудження в електронній фермі-рідині.

ТЕМА 1. Елементарні частинки в квантовій механіці. Структурні одиниці речовини. Роль структурних одиниць в формуванні конденсованих середовищ. Ядра. Електронна оболонка атомів. Статистика ансамблів структурних одиниць.

ТЕМА 2. Квазічастинки в конденсованих середовищах та їх характеристика. Поняття квазічастинки. Квазічастинкові методи опису збуджених станів в конденсованих середовищах. Типи елементарних збуджень. Основні характеристики квазічастинок.

ТЕМА 3. Основний стан фермі-рідини. Невзаємодіючі електрони в потенціальній комірці. Енергія та імпульс Фермі. Два способи запровадження елементарних збуджень. Модель фермі рідини.

ТЕМА 4. Поверхня Фермі. Модель майже вільних електронів. Заповнення зони Брилюена на прикладі плоскої квадратної ґратки. Загальна схема побудови поверхонь Фермі. Класифікація топологій поверхонь Фермі.

ТЕМА 5. Динаміка та розсіяння квазічастинок в кристалі. Динаміка квазічастинок кристалічній ґратці. Розсіяння квазічастинок в кристалі. Загальні представлення про розсіяння електронів.

ТЕМА 6. Електропровідність. Феноменологічний опис електропровідності. Електропровідність в моделі фермівських електронів. Формула Ліфшица. Температурна залежність електропровідності.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2

Надпровідність. Ефекти фазової когерентності в надпровідниках.

ТЕМА 7. Історія розвитку теоритичних уявлень про надпровідність. Властивості надпровідників. Основні етапи на шляху дослідження явища надпровідності. Феноменологічні теорії застосовані до опису надпровідників. Ключові ідеї для побудови мікроскопічної теорії надпровідності. Теорія БКШ та теорія Боголюбова. Гамільтоніан Фр'юліха.

ТЕМА 8. Варіаційний принцип Боголюбова в теорії надпровідності. Канонічне перетворення Боголюбова. Загальний варіаційний принцип Боголюбова, його застосування до проблеми надпровідності. Перехід від операторів породження та знищення частинок до операторів породження та знищення квазічастинок. Енергетична щільність в спектрі квазічастинкових збуджень.

ТЕМА 9. Просторово неоднорідний надпровідник. Наближення самоузгодженого поля. Представлення статистичної суми надпровідника у вигляді функціонального інтеграла. Канонічне перетворення Боголюбова у випадку просторово неоднорідного надпровідника. Рівняння Боголюбова.

ТЕМА 10. Метод функцій Гріна в теорії надпровідності. Рівняння Горькова. Система рівнянь Горькова, як наслідок рівнянь Боголюбова. Одержання рівнянь Горькова з рівнянь руху в уявному часі.

ТЕМА 11. Теорія надпровідності Гінзбурга-Ландау. Асимптотична теорія надпровідності поблизу T_c . Рівняння Гінзбурга-Ландау. Загальні властивості рівняння Гінзбурга-Ландау. Ефект близькості. Андрієвське відбиття.

ТЕМА 12. Ефекти фазової когерентності в просторово неоднорідних надпровідних композиціях. Загальна схема опису струмових станів у надпровідності. Тунельний контакт. Ефект Джозефсона. Контакт двох надпровідників через прошарок нормального металу.

ТЕМА 13. Надпровідні контакти поблизу критичної температури. Загальна схема опису надпровідних контактів поблизу критичної температури. Контакт нормального металу і надпровідника. Знаходження граничних умов для рівняння Гінзбурга-Ландау. Розрахунок струму в SNS – контакті поблизу критичної температури. Вплив ефектів розпаровування на струм-фазову залежність.

4. СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Таблиця 2

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин						
	Усього	у тому числі					
		Лек.	Практ. (Семін.)	Лаб.	Консультації	Сам. роб.	Контр. роб.
Змістовий модуль 1. Квазічастинки в конденсованих середовищах та їх характеристика. Елементарні збудження в електронній фермі-рідині.							
Тема 1. Елементарні частинки в квантовій механіці	12	4		-	-	8	-
Тема 2. Квазічастинки в конденсованих середовищах та їх характеристика	16	4	2	-	-	10	-
Тема 3. Основний стан фермі-рідини	14	4	2	-	-	8	-
Тема 4. Поверхня Фермі	20	4	2	-	-	14	-
Тема 5. Динаміка та розсіяння квазічастинок в кристалі	12	2	2	-	-	8	-
Тема 6. Електропровідність. Феноменологічний опис електропровідності	10	2		-	-	8	-
Разом за змістовим модулем 1	84	20	8	-	-	56	-
Змістовий модуль 2. Надпровідність. Ефекти фазової когерентності в надпровідниках.							
Тема 7. Історія розвитку теоритичних уявлень про надпровідність	10	2		-	-	8	-
Тема 8. Варіаційний принцип Боголюбова в теорії надпровідності	14	4	2	-	-	8	

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин						
	Усього	у тому числі					
		Лек.	Практ. (Семін.)	Лаб.	Консультації	Сам. роб.	Контр. роб.
Канонічне перетворення Боголюбова							
Тема 9. Просторово неоднорідний надпровідник. Наближення самоузгодженого поля	12	4		-	-	8	-
Тема 10. Метод функцій Гріна в теорії надпровідності. Рівняння Горькова	10	2		-	-	8	-
Тема 11. Теорія надпровідності Гінзбурга-Ландау	14	4	2	-	-	8	-
Тема 12. Ефекти фазової когерентності в просторово неоднорідних надпровідних композиціях	18	4	4	-	-	10	-
Тема 13. Надпровідні контакти поблизу критичної температури	18	4	4	-	-	10	-
Разом за змістовим модулем 2	96	24	12	-	-	60	-
Усього годин	180	44	20	-	-	116	-

5. ТЕМИ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

№ з/п	Тема	Кількість годин
1	Квазічастинкові методи опису збуджених станів в конденсованих середовищах	2
2	Фермі-рідини. Модель та опис	2
3	Побудова поверхонь Фермі	2
4	Канонічне перетворення Боголюбова	2
5	Ефект Джозефсона в тунельних надпровідних контактах	2
6	Дослідження просторової поведінки параметра впорядкування поблизу T_c – границі	2
7	Знаходження граничних умов для рівняння Гінзбурга-Ландау	2
8	Вплив ефектів розпаровування на просторову поведінку параметра впорядкування	2
9	Струмові стани в надпровідних контактах для температур, близьких до критичної	2
10	Підсумкове заняття	2
	Разом	20

6. САМОСТІЙНА РОБОТА

№ з/п	Тема	Кількість годин
1	Закон дисперсії акустичних та оптичних фононів. Вплив взаємодії з наступними сусідами на закон дисперсії акустичних фононів	8
2	Ангармонізм коливань атомів. Механізм фонон-фононного розсіяння.	8

	Нормальне розсіяння. Граткова теплоємність. Теплове розширення. Теплопровідність твердих тіл	
3	Зони Брилюєна двовимірних ґраток. Перші зони Брилюєна для об'ємцентрованої та ґранецентрованої кубічних ґраток. Зони Брилюєна для простої кубічної ґратки. Перша зона Брилюєна – комірка Вігнера-Зейтца оберненої ґратки.	6
4	Розв'язок рівняння для щільності в граничних випадках: $T=0$, $T=T_c$. Асимптотичні формули для щільності поблизу критичної температури та поблизу нуля.	10
5	Енергія основного стану надпровідника. Термодинамічний потенціал просторово однорідного надпровідника. Різниця термодинамічних потенціалів надпровідного та нормального станів при нульовій температурі, асимптотична формула для цієї різниці поблизу критичної температури.	10
6	Розв'язок рівнянь Боголюбова та Горькова в просторово однорідному випадку.	10
7	Критичне поле та критичний струм тонкої плівки.	10
8	Квазікласичні рівняння в теорії надпровідності.	18
9	Побудова квазікласичних рівнянь для надпровідних контактів.	18
10	NS-границя за наявності домішок.	18
	Разом	116

7. МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ НАВЧАННЯ

Навчальний процес здійснюється у таких формах: навчальні заняття, самостійна робота аспірантів, практична підготовка, контрольні заходи. Основні види навчальних занять такі: лекція, практичне заняття, консультація.

Аудиторні навчальні заняття проводяться за затвердженим в установленому порядку розкладом. Основними видами аудиторних навчальних занять є: лекції, в тому числі з використанням мультимедіапроектора та інших ТЗН; практичні заняття з використанням ПК.

Лекція – один з основних видів навчальних занять і водночас методів навчання. Дидактичним завданням лекції є не тільки ознайомлення аспірантів з основним змістом, принципами, закономірностями, головними ідеями, а також підготовка до подальшої самостійної роботи. Лекція є елементом курсу лекцій, який охоплює основний теоретичний матеріал окремої або кількох тем навчальної дисципліни.

Практичне заняття – вид навчального заняття, під час якого викладач організовує детальний розгляд окремих теоретичних положень навчальної дисципліни та формує вміння й навички їх практичного застосування. Основна дидактична мета практичного заняття – розширення, поглиблення та деталізація наукових знань, отриманих аспірантами на лекціях і в процесі самостійної роботи й спрямованих на підвищення рівня засвоєння навчального матеріалу, прищеплення умінь і навичок, розвиток наукового мислення та усного мовлення аспірантів.

Консультація – це один із видів навчальних занять. Вона проводиться з метою отримання аспірантом відповіді на окремі теоретичні або практичні питання та для пояснення певних теоретичних положень чи аспектів їх практичного застосування.

Самостійна робота аспіранта є основним засобом засвоєння навчального матеріалу в час, вільний від обов'язкових навчальних занять, без участі викладача. Самостійна робота включає:

- опрацювання теоретичних основ лекційного матеріалу;
- вивчення окремих тем або питань, що не розглядаються в курсі лекцій;

- підготовку до практичних, лабораторних занять;
- розв'язування і письмове оформлення задач, схем, діаграм тощо;
- систематизацію вивченого матеріалу перед іспитом та ін. види роботи.

Аспірантам також рекомендується для самостійного опрацювання відповідна наукова література та періодичні видання.

8. ФОРМА ПІДСУМКОВОГО КОНТРОЛЮ УСПІШНОСТІ НАВЧАННЯ – екзамен

Екзамен проводиться у письмовій формі. Білет містить: 2 відкритих питання (30 балів за повну відповідь).

Питання на екзамен:

1. Структурні одиниці речовини. Роль структурних одиниць в формуванні конденсованих середовищ.
2. Ядра. Електронна оболонка атомів.
3. Статистика ансамблів структурних одиниць.
4. Поняття квазічастинки. Квазічастинкові методи опису збуджених станів в конденсованих середовищах. Типи елементарних збуджень. Основні характеристики квазічастинок.
5. Методи опису теплових коливань кристалічної ґратки. Фонони.
6. Акустичні фонони в тривимірній кристалічній ґратці.
7. Оптичні фонони в тривимірних кристалах. Статистика оптичних фононів.
8. Ангармонізм коливань атомів.
9. Властивості кристалів, пов'язані з коливаннями ґратки.
10. Основний стан фермі-рідини. Енергія та імпульс Фермі.
11. Два способи запровадження елементарних збуджень в фермі-рідині.
12. Електрон в полі періодичного потенціалу кристалічної ґратки.
13. Зони Брилюєна. Перша зона Брилюєна – комірка Вігнера-Зейтца оберненої ґратки.
14. Модель майже вільних електронів.
15. Загальна схема побудови поверхонь Фермі.
16. Класифікація топологій поверхонь Фермі
17. Динаміка квазічастинок в кристалічній ґратці.
18. Феноменологічний опис електропровідності. Електропровідність в моделі фермівських електронів.
19. Історія розвитку теоретичних уявлень про надпровідність.
20. Вараційний принцип. Канонічні перетворення Боголюбова.
21. Закон дисперсії квазічастинкових збуджень у надпровіднику.
22. Рівняння для щільності та критичної температури і їх розв'язання.
23. Пониження термодинамічного потенціалу та енергії основного стану при фазовому переході нормальний метал-надпровідник.
24. Застосування вараційного принципу до розрахунку термодинамічних функцій надпровідника.
25. Представлення статистичної суми надпровідника у формі функціонального інтеграла.
26. Наближення самоузгодженого поля в теорії надпровідності.
27. Канонічне перетворення Боголюбова у просторово неоднорідному випадку.
28. Рівняння Боголюбова.
29. Рівняння Горькова.
30. Застосування методу функцій Гріна у просторово однорідному випадку.
31. Розв'язування рівнянь Боголюбова в просторово однорідному випадку.
32. Представлення термодинамічного потенціалу через функцію Гріна.
33. Асимптотична теорія надпровідності поблизу T_c .

34. Загальні властивості рівняння Гінзбурга-Ландау.
35. Ефект близькості.
36. Андрієвське відбиття.
37. Загальна схема опису струмових станів у надпровідності.
38. Тунельний контакт. Ефект Джозефсона.
39. Контакт двох надпровідників через прошарок нормального металу.
40. Загальна схема опису надпровідних контактів поблизу критичної температури.
41. Контакт нормального металу і надпровідника.
42. Знаходження граничних умов для рівняння Гінзбурга-Ландау.
43. Розрахунок струму в SNS – контакті поблизу критичної температури.
44. Вплив ефектів розпаровування на струм-фазову залежність.

9. МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ДІАГНОСТИКИ УСПІШНОСТІ НАВЧАННЯ

У процесі вивчення дисципліни використовують такі методи оцінювання навчальної роботи аспіранта:

- поточне тестування та опитування;
- оцінювання самостійної роботи;
- письмовий екзамен.

10. РОЗПОДІЛ БАЛІВ ТА КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ

Підсумковий бал (за 100-бальною шкалою) з курсу визначається так:

- кількості балів за поточне оцінювання – 40 балів;
- письмовий екзамен – 60 балів.
-

Поточний контроль (max = 40 балів)														Модульний контроль/ екзамен (max = 60 балів)		Загальна кількість балів
Модуль 1										Модуль 2				Модуль 3		
Змістовий модуль 1						Змістовий модуль 2								Самостійна робота	МКР	100
Теми						Теми										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13				
2	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	10	60		

Рейтингова оцінка з навчальної дисципліни визначається як сума у балах поточної та підсумкової оцінки. Рейтингова оцінка у балах за шкалою навчального закладу може бути переведена до п'ятибальної шкали оцінювання (національної шкали). Згідно з даними таблиці переводу рейтинговий оцінок від однієї шкали до іншої.

Шкала оцінювання (національна та ECTS)

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою	
		для екзамену, курсової роботи (проекту), практики	для заліку
90 – 100	A	Відмінно	Зараховано
82 – 89	B	Добре	
75 - 81	C		
67 - 74	D	Задовільно	
60 - 66	E		
1–59	Fx	Незадовільно	Не зараховано (з можливістю повторного складання)

11. МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

- підручники т їх електронні форми;
- навчальні посібники та конспекти лекцій;
- плакати.

12. СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Брандт Н. Б. Квазичастицы в физике конденсированного состояния / Брандт Н. Б., Кульбачинский В. А. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 632 с.
2. Абрикосов А. А. Основы теории металлов / Абрикосов А. А. – М.: Наука, 1987. – 517 с.
3. Болеста І.М. Фізика твердого тіла. Навчальний посібник / Болеста І.М.– Львів: Видавн. Центр ЛНУ імені Івана Франка. 2003. – 524 с.
4. Ашкрофт Н. Физика твёрдого тела / Ашкрофт Н, Мермин Н. – М.: Мир, 1979. – Т. 1 – 399 с. Т. 2 – 422 с.
5. Займан Дж. Принципы теории твердого тела / Займан, Дж – М.: Мир, 1974. – 416 с.
6. Свідзинський А. В. Мікроскопічна теорія надпровідності : монографія / А. В. Свідзинський. – Луцьк :ВЕЖА, 2011. – 420 с.
7. Свидзинский А. В. Пространственно-неоднородные задачи теории сверхпроводимости / Свидзинский А. В. – М.: Наука, 1982. – 309 с.
8. Де Жен. Сверхпроводимость металлов и сплавов / Де Жен. – М. : Мир, 1968. – 282 с.
9. Сан-Жам Д. Сверхпроводимость второго рода / Д. Сан-Жам, Г. Сарма, Е. Томас. – М. : Мир, 1970. – 364 с.
10. Шмидт В. Введение в физику сверхпроводников / В. Шмидт. – М.: Наука, 1982. – 240 с.