

Додаток 4

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)

“ ”

2024 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Фізика дисперсних систем

(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти другий (магістерський)

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

2024 / 2025 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою фізичного факультету

«30» серпня 2024 року, протокол № 9.

РОЗРОБНИК ПРОГРАМИ:


Славін Віктор Валерійович, доктор фізико-математичних наук, професор кафедри теоретичної фізики, с.н.с.,

Соловійов Андрій Львович, доктор фізико-математичних наук, професор кафедри фізики низьких температур.

Програму схвалено на засіданні кафедри фізики низьких температур

Протокол від «26» серпня 2024 року № 14.

В.о. завідувача кафедри фізики низьких температур

 Валерій ШКЛОВСЬКИЙ

(підпис)

(ім'я та

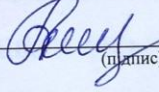
прізвище)

Програму схвалено на засіданні кафедри

теоретичної фізики імені академіка М. Ліфшиця

Протокол від “__” 08 2024 року, № ____.

Завідувач кафедри теоретичної фізики імені академіка М. Ліфшиця


 (Рашба Г.І.)

(прізвище та ініціали)

Програму погоджено методичною комісією фізичного факультету

Протокол від «28» серпня 2024 року № 1

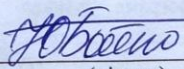
Голова методичної комісії фізичного факультету

 Микола МАКАРОВСЬКИЙ

(підпис)

(ім'я та прізвище)

Гарант ОНП

 Юрій БОЙКО

(підпис)

(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)

“ _____ ” _____

_____ 2024 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Фізика дисперсних систем

(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти другий (магістерський)

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 2024 року, протокол № 9.

РОЗРОБНИК ПРОГРАМИ:

Славін Віктор Валерійович, доктор фізико-математичних наук, професор кафедри теоретичної фізики, с.н.с.,

Соловйов Андрій Львович, доктор фізико-математичних наук, професор кафедри фізики низьких температур.

Програму схвалено на засіданні кафедри фізики низьких температур

Протокол від «26» серпня 2024 року № 14.

В.о. завідувача кафедри фізики низьких температур

Валерій ШКЛОВСЬКИЙ

(підпис)

(ім'я та

прізвище)

Програму схвалено на засіданні кафедри

теоретичної фізики імені академіка. М. Ліфшиця

Протокол від “__” 08 2024 року, № ____.

Завідувач кафедри теоретичної фізики імені академіка. М. Ліфшиця

(Рашба Г.І.)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Програму погоджено методичною комісією фізичного факультету

Протокол від «28» серпня 2024 року № 1

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 дисперсних систем: 1. Фізичні основи нанотехнологій, 2. Фізика високотемпературних надпровідників» складена відповідно до освітньо-професійної (освітньо-наукової) програми підготовки другого рівню вищої освіти – магістр

спеціальності 104 – «фізика та астрономія»

напряму підготовки– фізика

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Мета викладання навчальної дисципліни

Метою викладання навчальної дисципліни «Фізика дисперсних систем» є ознайомлення студентів з сучасними проблемами мезоскопічної фізики та створення у них уявлень стосовно того, як дія квантових законів трансформується при переході у класичний макроскопічний режим та отримання студентами теоретичних і практичних навичок в галузі сучасної фізики високотемпературної надпровідності.

1.2. Основні завдання вивчення дисципліни «Фізика дисперсних систем»

- навчити студентів досліджувати фізичні явища у мезоскопічних системах,
- використовувати поняття та методи квантової механіки з метою дослідження мезоскопічних явищ,
- використовувати поняття кубітів при дослідженнях систем у змішаних станах,
- знати, як реалізуються квантові точкові контакти у двовимірному електронному газі,
- оволодіння технікою теоретичного дослідження транспорту тепла і термоелектричних ефектів у балістичних системах,
- набуття знань щодо дослідження явища резонансного тунелювання у дисперсних системах,
- вміння розраховувати фізичні характеристики квантових точок у тому числі і при наявності кулонівської блокади,
- вміння досліджувати фізичні явища у вуглецевих нанотрубках в залежності від кута кіральності,
- описувати фізичні процеси у молекулярних транзисторах,
- сформулювати фізичні уявлення щодо основних квантово-механічних законів, які обумовлюють існування надпровідного стану у ВТНП при температурах багато більше 100 К,
- оволодіння основними експериментальними методами, за допомогою яких була отримана більшість відомостей про електронні стани у ВТНП сполуках,
- ознайомлення з взаємозв'язками між електронними властивостями і практичним використанням ВТНП у технічних пристроях.

Програмні компетентності, що забезпечуються дисципліною ОК5 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	
44 год.	год.
Практичні, семінарські заняття	
Не передбачені навчальним планом	год.
Лабораторні заняття	
Не передбачені навчальним планом	год.
Самостійна робота	
46 год.	год.
Індивідуальні завдання	
курсова робота – 30 год.	

1.6. Заплановані результати навчання

- 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. Відшуковувати 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.

Згідно з вимогами освітньо-наукової програми студенти повинні досягти наступних результатів навчання:

Знати, розуміти та бути здатними застосовувати на професійному рівні сучасні принципи і підходи до опису фізичних явищ у дисперсних системах та використовувати їх з метою створення наукової бази сучасної нанотехнології. Студенти повинні набути такі компетенції: аналізувати, тлумачити, пояснювати і класифікувати суть та механізми різноманітних фізичних явищ і процесів, які відбуваються у мезоскопічних і надпровідних системах. З метою розв'язування типових фізичних задач студенти повинні володіти понятійним апаратом нанофізики і фізики високотемпературної надпровідності.

Бути здатними застосовувати математичні знання з теорії лінійних операторів, теорії ймовірностей, математичної фізики і фізики надпровідності з метою отримання фізичних характеристик наносистем і надпровідних систем таким чином, щоб на основі відомих властивостей окремих частинок та їх взаємодії, вміти розраховувати кінетичні характеристики наносистем і використовувати надпровідні властивості сучасних матеріалів.

2. Тематичний план навчальної дисципліни

Розділ 1. Нанотехнології і мезоскопічна фізика

Тема 1. Фазова когерентність макроскопічних систем.

Тема 2. Інтерференція молекул фулерена.

Тема 3. Надпровідні кубіти.

Розділ 2. Квантова механіка – основа мезоскопічної фізики

- Тема 4. Рівняння Шредінгера і Гейзенберга.
 Тема 5. Інтеграл по траєкторіям Фейнмана.
 Тема 6. Різні представлення в квантовій механіці.

Розділ 3. Кубіти

- Тема 7. Дворівневі квантові системи. Тема 8. Матриця перетворень кубіта.
 Тема 9. Матриця густини і змішані стани.
 Тема 10. Переплутані стани в квантовій теорії.
 Тема 11. Геометрична ентропія (ентропія фон Неймана).

Розділ 4. Квантові точкові контакти

- Тема 12. Гетероструктури і двовимірний електронний газ.
 Тема 13. Формула Ландауера для кондактанса.
 Тема 14. Адиабатичні контакти і квантування кондактансу у двовимірному електронному газі.
 Тема 15. «Break junction» і квантування кондактансу в атомних контактах.

Розділ 5. Транспорт тепла і термоелектричні ефекти у балістичних системах

- Тема 16. Вимірювання кванта термокондактансу.
 Тема 17. Закон Відемана-Франца.
 Тема 18. Термо е.д.с. і формула Мотта.

Розділ 6. Резонансне тунелювання

- Тема 19. Формула Брейта-Вігнера для резонансного коефіцієнту проходження електронів скрізь два бар'єра.
 Тема 20. Температурна залежність резонансного кондуктансу.
 Тема 21. Максимальний струм скрізь однорівневу систему.

Розділ 7. Квантові точки і кулонівська блокада

- Тема 22. «Ортодоксальна» теорія кулонівської блокади.
 Тема 23. Однорівневі і багаторівневі квантові «точки».
 Тема 24. Осциляції кондактансу по напрузі на затворі.
 Тема 25. Одноелектронні транзистори.

Розділ 8. Вуглецеві нанотрубки

- Тема 26. Графен і вуглецеві нанотрубки.
 Тема 27. Діраковські електрони в одношарових вуглецевих нанотрубках (спектр, кут киральності).
 Тема 28. Киральне тунелювання.

Розділ 9. Молекулярні транзистори

- Тема 29. Молекулярний транзистор на основі C₆₀.
 Тема 30. Вільно підвішені вуглецеві нанотрубки.
 Тема 31. Транспорт електронів в одномолекулярних транзисторах.
 Тема 32. Блокада Франка-Кондона і аномальна температурна залежність кондактансу.

Розділ 10. Класична надпровідність – «слабка» надпровідність БКШ.

- Тема 33. Температурна залежність опору у класичних металах. Історія відкриття надпровідності. Експерименти К. Оннеса. Ефект Мейснера – Оксефельда. Рівняння Лондонов.
 Тема 34. Два типи низькотемпературних надпровідників (НТНП). Магнітні властивості надпровідників 1-го і 2-го роду.
 Тема 35. Вихори Абрикосова. Параметр Гінзбурга-Ландау. Температурні залежності довжини когерентності $\xi(T)$ і глибини проникнення магнітного поля $\lambda(T)$ в НТНП.

Тема 36. Основи теорії Бардіна-Купера-Шриффера (БКШ).

**Розділ 11. Фізика купратних високотемпературних надпровідників
Високотемпературна надпровідність - надпровідність з сильним зв'язком.**

Тема 37. Передумови існування високотемпературної надпровідності. Історія відкриття ВТНП. Основні властивості, що відрізняють ВТНП від НТНП.

Тема 38. Кристалічна структура $\text{YBa}_0\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (YBCO) і $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{8+\delta}$ (BiSCCO). Фазова діаграма ВТНП.

Тема 39. Поняття про псевдощілину. Експериментальне спостереження зниження щільності станів на рівні Фермі (DOS) в ВТНП.

Розділ 12. Високотемпературна надпровідність - надпровідність з сильним зв'язком.

Тема 40. Сильний зв'язок у надпровідників. . Передумови існування високотемпературної надпровідності. Основні властивості.

Тема 41. Кристалічна структура $\text{YBa}_0\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (YBCO) і $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{8+\delta}$ (BiSCCO).

Тема 42. Фазова діаграма ВТНП. Поняття про псевдощілину.

Розділ 13. Основні підходи до теоретичного розгляду ВТНП.

Тема 43. Особливості електронної та зонної структури ВТНП. Теоретичні моделі ВТНП: Нефермі- рідинні моделі. ВТСП-системи з ЕФВ.

Тема 44. Псевдощілина в ВТНП. Концепція локальних пар в ВТНП.

Тема 45. Теорія Імрі-Ківелсона і Рандерья.

Тема 46. Поняття про "квантову критичну точку" (QCP) в купратах і її зв'язок з поверхнею Фермі.

Розділ 14. Теоретичні основи флуктуаційної провідності

Тема 47. Флуктуаційні теорії Асламазова-Ларкіна, Маки-Томпсона і Хікамі-Ларкіна.

Тема 48. Флуктуаційна провідність в класичних надпровідниках.

Тема 49. Флуктуаційна провідність в гранульованих надпровідниках. Флуктуаційна провідність в ВТНП. Магнетоопір в високотемпературних надпровідниках.

Розділ 15. Специфіка електронних систем з малою щільністю носіїв заряду.

Тема 50. Бозе Ейнштейнівська конденсація. Сильно зв'язані бозони в ВТНП.

Тема 51. Модель локальних пар. Розрахунок величини і температурної залежності псевдощілини.

Розділ 16. Основні експериментальні результати дослідження купратних ВТНП.

Тема 52. Незвичайна температурна залежність надпровідної щільності в купратах. Величина співвідношення БКШ $2\Delta(0) / k_B T_c$ в купратах та теорії Зайцева і Вонга-Чину.

Тема 53. Ефекти, що вказують на існування спарених ферміонів в ВТНП вище T_c . Дослідження флуктуаційної провідності в YBCO і BiSCCO.

Тема 54. Температурна залежність псевдощілини в купратах. Роль взаємодії надпровідності і магнетизму в формуванні псевдощілини.

Розділ 17. Специфічна температурна залежність псевдощілини в нанощарах YBCO.

Тема 55. Виготовлення багатошарових плівок (надграток -НГ) методом імпульсного лазерного напилення (PLD). Методи аналізу таких структур.

Тема 56. Аналіз флуктуаційної провідності і псевдощілини в НГ. Порівняння з результатами, отриманими на магнітних надпровідниках.

Розділ 18. Метод ARPES (angle-resolved photoemission spectroscopy) для дослідження ВТНП.

Тема 57. Фізичні принципи ARPES. Результати Кондо з вимірювання спектральної ваги енергетичних функцій ARPES (energy distribution curves -EDS) в Bi2201.

Тема 58. Зв'язок з псевдощільною. Поняття про арки Фермі.

Розділ 19. Ефект Андріївського відбиття в ВТНП.

Тема 59. Фізичні принципи ефекту Андріївського відбиття в надпровідниках.

Тема 60. Надлишковий струм і ефект Андріївського відбиття в контактах Ag-Bi2223.

Тема 61. Порівняння з результатами ПЩ аналізу в Bi2223. Факти, що підтверджують існування спарених ферміонів (локальних пар) в ВТНП вище T_c .

Розділ 20. Основні властивості Fe-пніктидів.

Тема 62. Істрія відкриття. Кристалічна структура сполук 1111, 122 і 11. Фазові діаграми з'єднань 1111, 122 і 11.

Тема 63. Основні властивості Fe-пніктидів і з'єднань FeSe -селенідів.

Тема 64. Співіснування надпровідності і магнетизму.

Розділ 21. Основні результати вимірювання надлишкової провідності в Fe-пніктідах.

Тема 65. Дослідження надлишкової провідності в SmFeAsO_{0.85}.

Тема 66. Теорія Мачіди-Нокури-Мацубари (МНМ).

Тема 67. Надлишкова провідність і псевдощель в EuFeAsO_{0.85}F_{0.15}.

Тема 68. Роль магнітної взаємодії у формуванні псевдощільності.

Розділ 22. Результати вимірювання надлишкової провідності в FeSe.

Тема 69. Флуктуаційна провідність в FeSe.

Тема 70. Незвичайна температурна залежність надлишкової провідності в FeSe. Роль магнітної взаємодії.

3. Структура навчальної дисципліни

Назви модулів і тем	Кількість годин					
	Денна форма					
	Усього	у тому числі				
л		п	лаб	інд.	с.р. (разом з індивід.)	
1	2	3	4	5	6	7
Розділ 1. Нанотехнології і мезоскопічна фізика.						
Тема 1	1,5	1				0,5
Тема 2	1	0,5				0,5
Тема 3	1,5	0,5				1
Разом за розділом 1	4	2				2
Розділ 2. Квантова механіка – основа мезоскопічної фізики.						
Тема 4	1	0,5				0,5
Тема 5	1	0,5				0,5
Тема 6	2	1				1

Разом за розділом 2	4	2				2
Розділ 3. Кубіти.						
Тема 7	1	0,5				0,5
Тема 8	1	0,5				0,5
Тема 9	1	0,5				0,5
Тема 10	1	0,5				0,5
Тема 11	2	1				1
Разом за розділом 3	6	3				3
Розділ 4. Квантові точкові контакти.						
Тема 12	1,5	1				0,5
Тема 13	1,5	1				0,5
Тема 14	1,5	1				0,5
Тема 15	1,5	1				0,5
Разом за розділом 4	6	4				2
Розділ 5. Транспорт тепла і термоелектричні ефекти у балістичних системах.						
Тема 16	2	1				0,5
Тема 17	1,5	0,5				0,5
Тема 18	1,5	0,5				1
Разом за розділом 5	5	2				2
Розділ 6. Резонансне тунелювання.1						
Тема 19	1,5	1				0,5
Тема 20	1,5	1				0,5
Тема 21	2	1				1
Разом за розділом 6	5	3				2
Розділ 7. Квантові точки і кулонівська блокада.						
Тема 22	1	0,5				0,5
Тема 23	1	0,5				0,5
Тема 24	1	0,5				0,5
Тема 25	1	0,5				0,5
Разом за розділом 7	4	2				2
Розділ 8. Вуглецеві нанотрубки.						
Тема 26	2	1				1
Тема 27	1	0,5				0,5
Тема 28	1	0,5				0,5
Разом за розділом 8	4	2				2
Розділ 9. Молекулярні транзистори.						
Тема 29	1,5	0,5				1
Тема 30	1,5	0,5				1
Тема 31	1,5	0,5				1
Тема 32	1,5	0,5				1
Разом за розділом 9	6	2				4
Розділ 10. Класична надпровідність – «слабка» надпровідність БКШ						
Тема 33	1,5	0,5				1

Тема 34	1.5	0.5			1
Тема 35	2	1			1
Тема 36	2	1			1
Разом за розділом 9.	7	3			4
Розділ 11. Фізика купратних високотемпературних надпровідників Високотемпературна надпровідність - надпровідність з сильним зв'язком.					
Тема 37	1	0.5			0.5
Тема 38	1	0.5			0.5
Тема 39	2	1			1
Разом за розділом 11.	4	2			2
Розділ 12. Високотемпературна надпровідність - надпровідність з сильним зв'язком.					
Тема 40	1.5	1			0.5
Тема 41	1.5	1			0.5
Тема 42	2	1			1
Разом за розділом 12.	5	3			2
Розділ 13. Основні підходи до теоретичного розгляду ВТНП.					
Тема 43	1	0.5			0.5
Тема 44	1	0.5			0.5
Тема 45	1	0.5			0.5
Тема 46	1	0.5			0.5
Разом за розділом 13.	4	2			2
Розділ 14. Теоретичні основи флуктуаційної провідності					
Тема 47	2	1			1
Тема 48	1.5	1			0.5
Тема 49	1,5	1			0.5
Разом за розділом 14.	5	3			2
Розділ 15. Специфіка електронних систем з малою щільністю носіїв заряду.					
Тема 50	1.5	1			0.5
Тема 51	1,5	1			0.5
Разом за розділом 15	3	2			1
Розділ 16. Основні експериментальні результати дослідження купратних ВТНП.					
Тема 52	1.5	1			0.5
Тема 53	2	1			1
Тема 54	1.5	1			0.5
Разом за розділом 16.	5	3			2
Розділ 17. Специфічна температурна залежність псевдощільни в наночастицях YBCO.					
Тема 55	1,5	1			0.5
Тема 56	1,5	1			0.5
Разом за розділом 17	3	2			1

Розділ 18. Метод ARPES (angle-resolved photoemission spectroscopy) для дослідження ВТНП.						
Тема 57	1.5	1				0.5
Тема 58	1.5	1				0.5
Разом за розділом 18	3	2				1
Розділ 19. Ефект Андріївського відбиття в ВТНП.						
Тема 59	2	1				1
Тема 60	2	1				1
Тема 61	1,5	0.5				1
Разом за розділом 19.	5,5	2.5				3
Розділ 20. Основні властивості Fe-пніктідів.						
Тема 62	1,5	1				0.5
Тема 63	1,5	1				0.5
Тема 64	1,5	0.5				1
Разом за розділом 20.	4,5	2.5				2
Розділ 21. Основні результати вимірювання надлишкової провідності в Fe-пніктах.						
Тема 65	1,5	1				0.5
Тема 66	1,5	1				0.5
Тема 67	1	0.5				0.5
Тема 68	1	0.5				0.5
Разом за розділом 21.	5	3				2
Розділ 22. Результати вимірювання надлишкової провідності в FeSe.						
Тема 69	1.5	1				0.5
Тема 70	1.5	1				0.5
Разом за розділом 22	3	2				1
Усього годин	90	44				46 год. (в тому числі 30 год. на виконання індив. завдань)

4. **Теми семінарських (практичних, лабораторних) занять**
Не передбачені навчальним планом.

5. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
1	2	3
1.	Ознайомитись з поняттям про фазову когерентність макроскопічних систем.	0,5
2.	Дослідити хімічні та фізичні властивості фулеренів.	0,5
3.	Ознайомитись з можливостями реалізації кубітів.	1
4.	Опрацювати основні рівняння квантової механіки	0,5
5.	Дослідити трактовку квантової механіки «по Фейнману»	0,5
6.	Опанувати елементи теорії зображень, дискретні та неперервні зображення в квантовій механіці	1

7.	Ознайомитись з дворівневою системою у квантовій механіці.	0,5
8.	Опрацювати тему «Матриця перетворень кубіта».	0,5
9.	Опрацювати тему «Матриця густини і змішані стани».	0,5
10.	Ознайомитись з поняттям про переплутані стани в квантовій теорії.	0,5
11.	Опрацювати тему «Геометрична ентропія (ентропія фон Неймана)».	1
12.	Дослідити за додатковими інтернет-джерелами властивості гетероструктур і двовимірного електронного газу.	0,5
13.	Опрацювати тему «Кондактанс. Формула Ландауера для кондактанса».	0,5
14.	Опрацювати тему «Адіабатичні контакти і квантування кондактансу у двовимірному електронному газі».	0,5
15.	Опанувати « <i>v</i> break junction» і квантування кондактансу в атомних контактах.	0,5
16.	Ознайомитись з поняттям кванту термokonдактансу та його вимірюваннями.	0,5
17.	Вивчити закон Відемана-Франца.	0,5
18.	Ознайомитись з термо е.д.с. і застосуванням формули Мотта.	1
19.	Дослідити проходження та відбиття через потенціальні бар'єри, а також резонансне проходження. Вивчити формулу Брейта-Вігнера для резонансного коефіцієнту проходження електронів скрізь два бар'єри	0,5
20.	Опанувати техніку визначення температурної залежності резонансного кондуктансу.	0,5
21.	Навчитися робити розрахунки максимального струму скрізь однорівневу систему.	0,5
22.	Опанувати поняття про кулонівську блокаду кулонівської блокади.	0,5
23.	Навчитися класифікувати квантові «точки».	0,5
24.	Опрацювати тему «Осциляції кондактансу по напрузі на затворі».	0,5
25.	Опрацювати тему «Транзистори та одноелектронні транзистори».	0,5
26.	Ознайомитись з новими фізичними об'єктами - графеном і вуглецевими нанотрубками.	1
27.	Ознайомитись з рівнянням Дірака для електрона, діраковськими електронами в одношарових вуглецевих нанотрубках (спектр, кут киральності).	0,5
28.	Опрацювати тему «Киральність. Киральне тунелювання».	0,5
29.	Опрацювати тему «Молекулярні транзистори. Молекулярний транзистор на основі C ₆₀ ».	0,5
30.	Дослідити вільно підвішені вуглецеві нанотрубки.	0,5
31.	Проаналізувати транспорт електронів в одномолекулярних транзисторах.	0,5
32.	Опрацювати поняття блокади Франка-Кондона і аномальної температурної залежності кондактансу.	0,5
33.	Вивчити основні положення теорії Бардіна-Купера-Шриффера.	0,5
34.	Опрацювати основні властивості, що відрізняють ВТНП від НТНП.	0,5
35.	Дослідити фазові діаграми ВТНП. Опанувати поняття про псевдощілину.	0,5
36.	Опрацювати тему «Концепція локальних пар в ВТНП. Теорія Імрі-Ківелсона і Рандерья».	0,5
37.	Ознайомитись з флуктуаційними теоріями Асламазова-Ларкіна, Маки-Томпсона і Хікамі-Ларкіна в ВТНП.	0,5

38.	Опанувати модель локальних пар. Навчитися робити розрахунок величини і температурної залежності псевдощільності.	0.5
39.	Дослідити ефекти, що вказують на існування спарених ферміонів в ВТНП вище T_c .	0.5
40.	Проаналізувати співіснування надпровідності та магнетизму у ВТНП.	0.5
41.	Опрацювати тему «Фізичні принципи ARPES».	0.5
42.	Опрацювати тему «Фізичні принципи ефекту Андріївського відбиття в надпровідниках».	0.5
43.	Набути навички побудови фазових діаграм Fe-пніктідів з композицією 1111, 122 і 11.	0.5
44.	Опрацювати тему «Теорія Мачіди-Нокури-Мацубари (МНМ)».	0.5
45.	Опрацювати тему «Флуктуаційна провідність в FeSe».	0.5
46.	Виконати курсову роботу (частина з цих годин віднесена до пп.1-45)	30
	Разом	46

6. Індивідуальні завдання

Курсова робота.

7.

Методи контролю

Опитування, консультації протягом семестру, перевірка курсової роботи; екзамен.

8. Схема нарахування балів

Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання				Екзамен (залікова робота)	Сума
Розділи 1-22	Контрольна робота, передбачена навчальним планом	Курсова робота	Разом		
T1-T70					
20	-	20	40	60	100

Для зарахування розділів 1-22 треба набрати у підсумку не менше 10 балів. Для зарахування курсової роботи – у підсумку не менше 10 балів.

Для допуску до підсумкового семестрового контролю студент повинен здати 22 розділи, захистити курсову роботу та набрати у підсумку не менше 20 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. V. V. Schmidt, "The Physics of Superconductors," In: P. Muller and A. V. Ustinov, Eds., *The Physics of Superconductors*, Springer, Berlin, 1997.
2. Bardeen, J.; Cooper, L. N.; Schrieffer, J. R. (1957). "Theory of Superconductivity". *Physical Review*. 108 (5): 1175–1204.
3. A. C. Rose-Innes and B. Serin. Superconductivity of Superimposed Metals // *Phys. Rev. Lett.* 7, 278 – Published 1 October 1961.
4. Tinkham, Michael (1996). *Introduction to Superconductivity*. Mineola, New York: Dover Publications. ISBN 0486435032.
5. Локтев В.М. Лекції з фізики надпровідників. Київ, 2008. – 276 с.
6. Свідзинський А.В., Вілігурський О.М. Лекції з фізики надпровідності. Луцьк: РВВ «Вежа» Волинського держ. ун-ту, 2003. – 82 с.
7. Barone A. Physics and application of the Josephson effect / A. Barone and G. Paternò // New York: Wiley.- 1982.- 529 P.
8. De Gennes P. Superconductivity of metals and alloys / P. G. De Gennes//New York- Amsterdam: W. A. Benjamin Inc.- 1966.-292

Допоміжна література

1. O.A.Ilinskaya, S.I.Kulinich, I.V.Krive, R.I.Shekhter, M.Jonson "Magnetically controlled single-electron shuttle", *Low Temperature Physics* v.41 (No 1), pp.70-74 (2015).
2. S.I. Kulinich, L.Y. Gorelik, A.N. Kalinenko, I.V. Krive, R.I. Shekhter, Y.W. Park, M. Jonson, Single electron shuttle based on electron spin, *Phys. Rev. Lett.* v.112, 117206 (2014).
3. A.V. Parafilo, I.V. Krive, R.I. Shekhter, Y.W. Park, M. Jonson, Polaronic effects and thermally enhanced superconductivity, *Phys. Rev. B* v.89, 115138 (2014).
4. R.I. Shekhter, L.Y. Gorelik, I.V. Krive, M. Kiselev, S.I. Kulinich, A.V. Parafilo, K. Kikoin, M. Jonson, Electronic spin working mechanically, *ФНТ* 40, No 7 (2014).
5. Болеста І.М. Фізика твердого тіла. Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 1998. – 615 с.
6. Свідзинський А. Мікроскопічна теорія надпровідності. I / А. В. Свідзинський // Луцьк РВВ «Вежа» Волин. держ. ун-ту ім. Лесі Українки, 2001. – Ч. 1. – 254 с.
7. Likharev K. Dynamics of Josephson junctions and circuits / K.K. Likharev // Philadelphia: Gordon and Breach.- 1991.- 614 P.
8. Tinkham M. Introduction to superconductivity / M. Tinkham // New York: McGraw Hill Inc.-1996.- 454 P.
9. J. Bardeen; L. N. Cooper & J. R. Schrieffer (1957). "Microscopic Theory of Superconductivity". *Physical Review*. **106** (1): 162–164.
10. Болеста І. Фізика твердого тіла / Л.: Вид-во відділу ЛНУ ім. Франка, 2003. – 479 .
10. Курик М. Фізика твердого тіла / М. Курик, В. Цмоць. – К. Вища шк., 1985. – 343 с.
11. Мазуренко Д.М. Електронна теорія речовини / К.: Вища школа, 1969. – 174 с.

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