

Київський національний  
університет імені Тараса Шевченка

Радіофізичний факультет  
Кафедра криогенної і мікроелектроніки  
Професор Кордюк О. А.

## **Фізика поверхні. Електронні властивості низьковимірних систем**

РОБОЧА НАВЧАЛЬНА ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ

освітньо-професійної програми спеціальності

070201 "радіофізика і електроніка"

Затверджена

Вченою Радою

радіофізичного факультету

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 200 року

Протокол № \_\_\_\_\_

### Тематичний план лекцій і практичних занять

№ лекції (практ. заняття)	Назва лекції (тема практичного заняття)	Лекції	Практ. занят.	Сам. робота
<b>Змістовний модуль 1</b> <i>Електронна структура низьковимірних систем</i>				
1	Електронні властивості твердих тіл	2		
2	Електронна структура кристалів	2		0,5
3	Електронна структура та транспортні властивості	2		0,5
4	Методи розрахунку електронної структури	2		0,5
5	Електронна структура низьковимірних систем	2		0,5
6	Поверхневі стани	2		
7	Огляд сучасних експериментальних методик	2		0,5
8	LEED	2		0,5
9	Тунельна скануюча спектроскопія	2		0,5
10	ARPES	2		0,5
	<u>ВСЬОГО</u>	20		4
<b>Змістовний модуль 2</b> <i>Сильно-корельовані електронні системи</i>				
11	Формалізм функцій Гріна	2		0,5
12	Методи побудови фейманівських діаграм	2		0,5
13	Мот-хабардівські системи та важкі ферміони	2		0,5
14	CDW	2		0,5
15	ВТНП купрати	2		0,5
16	Надпровідність в арсенідах та інших системах	2		0,5
17	Квантовий ефект Хола	2		
	<u>ВСЬОГО</u>	14		3
	<u>ВСЬОГО ЗА СЕМЕСТР</u>	34		7

## Тематично-змістовна частина курсу

### ЗМ-1

#### Лекція 1. – 2 год.

ЕЛЕКТРОННІ ВЛАСТИВОСТІ ТВЕРДИХ ТІЛ. Модель Друде. Принцип Паулі та електронні стани. Статистика Фермі та модель Зоммерфельда. Проблеми теорій Друде та Зоммерфельда. Модель желе. Теорія подвійного шару.

#### Лекція 2. – 2 год.

ЕЛЕКТРОННА СТРУКТУРА КРИСТАЛІВ. Поняття кристалічної ґратки. Обенена ґратка та зона Брілюена. Електрони у періодичному потенціалі. Теорема Блоха. Наближення слабого потенціалу. Зонна щілина. Метали та діелектрики. Густина електронних станів. Поверхня Фермі.

#### Лекція 3. – 2 год.

ЕЛЕКТРОННА СТРУКТУРА ТА ТРАНСПОРТНІ ВЛАСТИВОСТІ. Напівкласична модель.  $\tau$ -наближення. Електропровідність. Вплив магнітного поля. Ефект Хола у сильних та слабких магнітних полях та магнетоопір. Осциляції коефіцієнта Хола. Ефект де Гааза - ван Альфена.

#### Лекція 4. – 2 год.

МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ ЕЛЕКТРОННОЇ СТРУКТУРИ. Метод сильного зв'язку. Експериментальне визначення коефіцієнтів перескоку. Функції Ваньє. Метод комірок. Методи псевдопотенціалу. Методи розрахунку "з перших принципів": теорія функціоналу густини.

#### Лекція 5. – 2 год.

ЕЛЕКТРОННА СТРУКТУРА НИЗЬКОВИМІРНИХ СИСТЕМ. Густина електронних станів одно-, дво- та три-вимірних металів. Вплив розмірності на електронну структуру. Розмірні переходи. Ефекти електронної локалізації. Властивості шарованих структур.

#### Лекція 6. – 2 год.

ПОВЕРХНЕВІ СТАНИ. Робота виходу та поверхневий бар'єр. Подвійний шар просторового заряду. Поверхневі електронні стани. Взаємодія локальних електронних станів с енергетичними зонами. Сорбція. Впорядковані поверхні.

#### Лекція 7. – 2 год.

ОГЛЯД СУЧАСНИХ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ МЕТОДИК. Необхідність досягнення ультрависокого вакууму у сучасному експерименті та методи його отримання. Дослідження кристалічної структури поверхні дифракційними методами. Огляд фотоемісійних методів

дослідження електронної структури. Рентгенівська фотоемісійна дифракція. Інші методи дослідження електронних властивостей поверхні.

**Лекція 8.** – 2 год.

ДИФРАКЦІЯ НИЗЬКОЕНЕРГЕТИЧНИХ ЕЛЕКТРОНІВ (LEED). Спостереження процесів рекомбінації, структурних переходів та виникнення надструктур у дифракційних спектрах. Поняття LEED-стану як оберненого процесу фотоемісії та визначення дисперсійних залежностей.

**Лекція 9.** – 2 год.

ТУНЕЛЬНА СКАНУЮЧА МІКРОСКОПІЯ (STM) ТА СПЕКТРОСКОПІЯ (STS). Топографія та спектрокопія. Тунельні спектри надпровідників. STS і квантова інтерференція. Квантові корали та моноатомна спектрокопія.

**Лекція 10.** – 2 год.

ФОТОЕЛЕКТРОННА СПЕКТРОСКОПІЯ З КУТОВИМ РОЗДІЛЕННЯМ (ARPES). Шлях від фотоэффекту до сучасного ARPESy. Спектральна функція. Визначення параметрів взаємодії за спектрами ARPES. ARPES та STS — два різні погляди на густину електронних станів. Зв'язок з транспортними електронними властивостями.

## ЗМ-2

**Лекція 11.** – 2 год.

ФОРМАЛІЗМ ФУНКЦІЙ ГРІНА. Проблема багатьох тіл. Поняття сильних кореляцій. Метод канонічних перетворень. Від електронного газу до електронної рідини. Фермі-рідина. Поняття квазічастинок. Критерії існування квазічастинок. Власна енергія. Співвідношення Крамерса-Кроніга.

**Лекція 12.** – 2 год.

МЕТОДИ ПОБУДОВИ ФЕЙМАНІВСЬКИХ ДІАГРАМ. Побудова одночасткової функції Гріна. Рівняння Дайсона. Вакуумна амплітуда. Енергія основного стану. Двохчасткова функція Гріна. Поляризаційна функція Гріна. Функція Ліндхардта. Функція Гріна та вакуумна амплітуда при кінцевих температурах.

**Лекція 13.** – 2 год.

МОТ-ХАБАРДІВСЬКІ СИСТЕМИ ТА ВАЖКІ ФЕРМІОНИ. Перехід метал-діелектрик у низьковимірних системах.  $t$ - $J$  модель. Нецентросиметричні метали. Важкі ферміони та надпровідність. Надпровідність та феромагнетизм. Орбітальне та зарядове впорядкування. Кондо-дефекти та Кондо-системи.

**Лекція 14.** – 2 год.

ХВИЛІ ЗАРЯДОВОЇ ГУСТИНИ (CDW). Теорія електронної нестабільності одновимірних металів. Перехід Пасрлса. Аномалія Кона. Роль флуктуацій. Проблема дво-вимірних системи. Реальні матеріали з CDW. Експериментальне спостереження хвиль зарядової густини в одно- та дво-вимірних системах.

**Лекція 15.** – 2 год.

ВТНП КУПРАТИ. Надпровідність у купратах, огляд експериментальних результатів. Фазова діаграма та електронна структура. *d*-симетрія. Надпровідна щілина та псевдо-щілина. Спін-разядове розділення. Аналіз та класифікація просторових неоднорідностей. Структура магнітного спектру. Можливі механізми ВТНП.

**Лекція 16.** – 2 год.

НАДПРОВІДНІСТЬ В АРСЕНІДАХ ТА ІНШИХ СИСТЕМАХ. Надпровідність у двовимірних металах. Нові Fe-As-надпровідники. Фазова діаграма. Електронна структура і магнітне впорядкування. Співіснування надпровідності і магнетизму. Можливі механізми.

**Лекція 17.** – 2 год.

КВАНТОВИЙ ЕФЕКТ ХОЛА. Цілочисельний квантовий ефект Хола. Роль домішок. Дробовий квантовий ефект Хола. Функція Лафліна та елементарні збудження. Еніони. Підсумковий огляд низьковимірних систем з особливими електронними властивостями.

### Самостійна робота студентів

#### Постійними завданнями для самостійної роботи є:

- робота над лекційним матеріалом з конспектом;
- опрацювання частини лекційного матеріалу, винесеного на самостійне вивчення.

#### Перелік питань, винесених на самостійну роботу

##### ЗМ–1

1. Доведення теореми Блоха [1].
2. Класичний ефект Хола [1].
3. Сучасні методи розрахунку електронної структури: теорія функціоналу густини [1, 17].
4. Квантові ефекти у низьковимірних системах, гетероструктури та квантові точки [9, 18].
5. Глибина виходу фотоелектронів [12].

6. Розшифровка розподілу інтенсивності електронних дифракційних максимумів [12].
7. Квазікристали [13, 14].
8. Розрахунок електродинамічних властивостей кристалів за параметрами їх квазічастинкового спектру [1].

### ЗМ–2

1. Функція Гріна дитячого більярду [5].
2. Перехід Паєрлса та електронні флуктуації [1].
3. Переходи Мота та Андерсона [10, 16].
4. Псевдощілинні явища у високотемпературних надпровідниках [15].
5. Надпровідність у нових матеріалах.
6. Квантовий ефект Хола [9].

### Перелік рекомендованої літератури

#### *ОСНОВНА:*

1. Н. Ашкрофт, Н. Мермин. Физика твердого тела, т. 1. Москва, Мир, 1979, 400 с.
2. Т. Андо, А. Фаулер, Ф. Стерн. Электронные свойства двумерных систем, Москва, Мир, 1985, 416 с.
3. А. Я. Шик, В. И. Ильин и др., Физика низкоразмерных систем, М.: Наука, 2001, 156 с.
4. В. Я. Демиховский, Г. А. Вугальтер, Физика квантовых низкоразмерных структур, М.: Логос, 2000, 247 с.
5. Р. Маттук. Фейнмановские диаграммы в проблеме многих тел, Москва, Мир, 1969, 368 с.

#### *ДОДАТКОВА:*

6. Р. Фейнман, А. Хибс, Квантовая механика и интегралы по траекториям, 1968
7. G. D. Mahan, Many-particle physics, Plenum Press, New York, 1990, 1032 с.
8. Л. С. Левитов, А. В. Шитов, Функции Грина. Задачи и решения, Физматлит, 2003, 389 с.
9. В. Ф. Гантмахер, Электроны в неупорядоченных средах, Физматлит, 2005, 232 с.
10. Н. Ф. Мотт. Переходы металл-изолятор, М.: Наука. 1979, 344 с.
11. Н. Bruus, К. Flensberg, Many-body quantum theory in condensed matter physics, Copenhagen, 2002, 336 с.
12. Surface and thin film analysis: principles, instrumentation, applications. Ed. H. Buebert, H. Jenett, Willey-VCH Verlag, 2002, 336 с.
13. R. Penrose, The road to reality: a complete guide to the laws of the Universe, London, Jonathan Cape, 2004, 1094 p.
14. Р. Пенроуз, Новый ум короля: О компьютерах, мышлении и законах физики. М.: Едиториал УРСС, 2003, 384 с.

15. В. М. Локтєв, Спектри та псевдощілинні явища у високотемпературних надпровідниках, *Укр. фіз. журн. Огляди*. 2004. Т. 1, № 1, с. 10-48.
16. Ю. А. Изюмов. Сильно коррелированные электроны:  $t$ - $J$ -модель, *Усп. физ. наук*. 1997. Т. 167, №5, с. 465-497.
17. R. G. Parr, W. Yang, *Density-Functional Theory of Atoms and Molecules* (Oxford University Press, New York, 1989), с. 336.
18. Wang, C., Shim, M. & Guyot-Sionnest, P. Electrochromic nanocrystal quantum dots., *Science* **291**, 2390-2392 (2001).