

## СИЛАБУС

### “Фізика конденсованого стану і сильно-скорельованих систем”

Національна академія наук України  
Інститут фізики конденсованих систем  
Спеціальність: 104 Фізика та астрономія

Лектор: д. фіз.-мат. наук А.М. Швайка  
[ashv@icmp.lviv.ua](mailto:ashv@icmp.lviv.ua)  
ІФКС НАН України, вул. Свенціцького 1, Львів  
032-2761978

#### Опис курсу

За своєю логічною побудовою курс можна умовно розділити на чотири частини. В першій частині послідовно викладені основи квантово-статистичного опису багаточастинкових систем та представлення чисел заповнення. Друга частина присвячена теорії еволюції багаточастинкових квантових станів під дією зовнішнього збурення та методу функцій Гріна. У третій частині показано представлення спостережуваних фізичних величин через відповідні кореляційні функції і функції Гріна. Четверта частина присвячена застосуванню введеного раніше формалізму до опису термодинаміки і динамічного відгуку спінових та сильноскорельованих електронних систем.

#### Мета курсу

Мета навчальної дисципліни – дати аспірантам основи фундаментальних знань з квантової статистичної фізики та квантової теорії багаточастинкових систем, ознайомити з основними принципами теоретичного опису квантових багаточастинкових систем, дати приклади використання цих знань у сучасному матеріалознавстві і нанотехнологіях та в багатьох інших важливих напрямках сучасної науки, таких як біотехнологія, біофізика, органічна та неорганічна хімія.

Внаслідок вивчення навчальної дисципліни аспірант повинен бути здатним продемонструвати такі **результати навчання** :

1. Знати математичні основи квантово-статистичної фізики.
2. Знати метод вторинного квантування і представлення чисел заповнення.
3. Знати методи опису еволюції квантових багаточастинкових систем.
4. Знати методи опису класичних і квантових спінових систем та систем з сильними локальними кореляціями.
5. Вміти пов'язати спостережувані фізичні величини з операторами в зображенні вторинного квантування.
6. Вміти розраховувати спостережувані термодинамічні величини і динамічний відгук квантових багаточастинкових систем з допомогою методу функцій Гріна.
7. Вміти розв'язувати модельні квантові багаточастинкові задачі різними методами.

### Структура навчальної дисципліни

Найменування показників	Всього годин
	Денна форма
Кількість кредитів/год.	5/150
Усього годин аудиторної роботи, у т.ч.:	80
• лекційні заняття, год.	48
• семінарські заняття, год.	16
• практичні заняття, год.	16
• лабораторні заняття, год.	-
Усього годин самостійної роботи, у т.ч.:	70
• контрольні роботи, к-сть/год.	-
• розрахункові (розрахунково-графічні), к-сть/год.	-
• індивідуальне науково-дослідне завдання, к-сть/год.	22
• підготовка до навчальних занять та контрольних заходів, год.	48
Екзамени	1
Заліки	-

Частка аудиторного навчального часу студента у відсотковому вимірі – 53.3%

### Опис навчальної дисципліни

## Лекційні заняття

№ п/п	Назви тем	К-сть годин
1.	<b>Основи квантової статистики</b> Історичні передумови виникнення. Статистичний оператор. Матриця розсіяння.	3
2.	<b>Представлення чисел заповнення</b> Хвильова функція багаточастинкової системи. Переставна симетрія. Представлення чисел заповнення. Оператори народження і знищення. Ідеальні фермі і бозе газу. Вироджений фермі газ. Бозе конденсація.	6
3.	<b>Еволюція квантових багаточастинкових систем</b> Представлення Шредінгера, Гайзенберга та взаємодії. Квантове розпутування операторів. Оператор еволюції.	3
4.	<b>Двочасові (зубарівські) функції Гріна</b> Запізнююча, випереджуюча і причинна функції Гріна. Аналітичні властивості і спектральні співвідношення. Рівняння руху.	6
5.	<b>Термодинамічна теорія збурень</b> Температурні (мацубарівські) функції Гріна, їх властивості, мацубарівські частоти. Спектральні співвідношення для температурних функцій Гріна, аналітичне продовження, сумування за мацубарівськими частотами, неергодичність.	6
6.	<b>Фізичні величини у зображенні вторинного квантування</b> Гармонічний осцилятор, коливання ґратки, фонони. Взаємодія з електромагнітним полем, фотони. Електрони у кристалі, функції Блоха, функції Ваньє, електрон-фононна взаємодія. Взаємодія з електромагнітним полем, оператори густини струму і поляризованості, оптична провідність.	12
7.	<b>Класичні та квантові спінові системи</b> Спінові гамільтоніани. Спінові хвилі. Розщеплення Боголюбова-Тяблікова. Теорія середнього (молекулярного) поля. Намагніченість ферромагнетика. Теорема Віка для спінових операторів. Рівняння Ларкіна.	6
8.	<b>Сильноскорельовані електронні системи</b> Модель Хаббарда. Модель Стонера. Наближення Хартрі-Фока. Наближення хаотичних фаз. Теорія Бейма-Каданова. Оператори Хаббарда. Наближення Хаббард-I. t-J модель. Теорема Віка для операторів Хаббарда. Теорія динамічного середнього поля та метод когерентного потенціалу. Точний розв'язок для моделі Фалікова-Кімбала.	6
<b>Усього годин</b>		48

## Практичні заняття

№ теми	Назви тем	Кількість Годин
1	Принципи і математичні основи квантової статистики.	4
2	Ідеальні фермі і бозе газу.	4
3	Наближені методи і їх застосування до багаточастинкових задач квантової статистичної фізики	4
4	Сильноскорельовані квантові системи	4
<b>Усього годин</b>		16

## Семинарські заняття

№ теми	Назви тем	Кількість Годин
1	Еволюція квантових багаточастинкових систем	4
2	Фізичні величини у зображенні вторинного квантування	4
3	Діаграмні методи при розв'язанні багаточастинкових задач квантової статистичної фізики	4
4	Наближення когерентного потенціалу в теорії неупорядкованих систем	4
<b>Усього годин</b>		16

## Самостійна робота

№	Найменування робіт	кількість год.
1.	Індивідуальне науково-дослідне завдання (тематичні презентаційні доповіді)	22
2.	Підготовка до навчальних занять та контрольних заходів	48
<b>Усього годин</b>		70

## Критерії оцінювання результатів навчання студентів

Максимальна оцінка в балах						
Поточний контроль				Екзаменаційний контроль		Разом за дисципліну
Лабораторні заняття	Практичні заняття	Самостійна робота	Разом балів (ПК)	Письмова компонента	Усна компонента	
-	10	10	20	-	80	100

Нижні межі оцінок:

88% А  
80% В  
70% С

### **Рекомендована література**

#### **Базова**

1. Кобилянський В. В. Статистична фізика. — К.: Вища школа, 1972. — 278 с.
2. Фейнман Р. Статистическая механика. Курс лекций. — М.: Мир, 1975. 408 с.
3. Федорченко А. М. Квантова механіка, термодинаміка і статистична фізика // Теоретична фізика. — К.: Вища школа, 1993. — Т. 2. — 415 с.
4. Крефт В.Д., Кремп Д., Эбелинг В., Рёпке Г., Квантовая статистика систем заряженных частиц. М.: Мир, 1988. — 408 с.
5. Стасюк І.В. Функції Гріна у квантовій статистиці твердих тіл: посібник. — Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2013. — 392 с.

#### **Допоміжна**

1. Ландсберг П. (ред.) Задачи по термодинамике и статистической физике. — М.: Мир, 1974.
2. Шиллинг Г. Статистическая физика в примерах. — М.: Мир, 1976.
3. Абрикосов А. А., Горьков Л. П., Дзялошинский И. Е. Методы квантовой теории поля в статистической физике. — М.: ГИФМЛ, 1962. — 444 с.
4. Mahan G.D. Many-Particle Physics. — Springer, 2000.
5. Freericks J. K. Transport in multilayered nanostructures: the dynamical mean-field theory approach. — London:Imperial College Press, 2016.

### **Інформаційні ресурси**

Віртуальне навчальне середовище Інституту фізики конденсованих систем, авторські розробки та наукові статті науково-педагогічних працівників, бібліотечний фонд Інституту фізики конденсованих систем НАН України