

## 1. Опис навчальної дисципліни

(Витяг з робочої програми навчальної дисципліни  
“Квантова статистична фізика”)

Найменування показників	Галузь знань, напрям підготовки, освітньо-кваліфікаційний рівень	Характеристика навчальної дисципліни	
		<i>денна форма навчання</i>	
Кількість кредитів – <b>6.5</b>	галузь знань <b>0402 Фізико-математичні науки</b>	Вільного вибору	
Модулів – <b>3</b>	Напрямок підготовки <b>6.040203 Фізика</b> спеціалізація «Теоретична фізика»	<i>Рік підготовки:</i> <b>4-й</b>	<i>Рік підготовки:</i> <b>4-й</b>
Змістових модулів – <b>4</b>		<i>Семестр</i> <b>7-й</b>	<i>Семестр</i> <b>8-й</b>
Загальна кількість годин – <b>195</b>		<i>Лекції</i> <b>12 год.</b>	<i>Лекції</i> <b>32 год.</b>
Тижневих годин для денної форми навчання: <i>Аудиторних:</i> VII семестр – 2 VIII семестр – 4 <i>Самостійної роботи студента:</i> VII семестр – 3 VIII семестр – 4.4	Освітньо-кваліфікаційний рівень: <b>бакалавр</b>	<i>Практичні</i>	<i>Практичні</i>
		<i>Лабораторні</i> <b>12 год.</b>	<i>Лабораторні</i> <b>32 год</b>
		<i>Самостійна робота</i> <b>37 год.</b>	<i>Самостійна робота</i> <b>70 год.</b>
		<i>Вид контролю:</i> <b>залік</b>	<i>Вид контролю:</i> <b>іспит</b>

## **2. Мета та завдання навчальної дисципліни**

**Мета:** ознайомлення студентів із математичним апаратом квантової статистичної фізики (вторинного квантування, представлення когерентних станів, метод функцій Гріна, діаграм Фейнмана та метод функціонального інтегрування). Ці методи є базовими при розв'язуванні різноманітних задач фізики конденсованого стану, зокрема в теорії металів, напівпровідників, магнетиків, надпровідників та ін.

**Завдання:** навчити студентів володіти математичним апаратом квантової статистики і самостійно розв'язувати основні задачі.

В результаті вивчення даного курсу студент повинен

**знати** основні рівняння та методи викладені у даному курсі.

**вміти:** використовувати методи викладені у програмі курсу.

Для слухачів курсу необхідними є знання зі статистичної фізики квантової механіки та методів математичної фізики, зокрема інтегральних перетворень та теорії узагальнених функцій.

## **3. Програма навчальної дисципліни**

### **МОДУЛЬ 1**

#### **Змістовий модуль 1. Вторинне квантування. Когерентні стани.**

##### **Тема 1. Представлення вторинного квантування**

1. Представлення вторинного квантування для гармонічного осцилятора. Вторинне квантування поля, яке відповідає бозе-частинкам.
2. Представлення чисел заповнення для систем бозе-частинок. Бозе-оператори народження і знищення.
3. Представлення чисел заповнення для систем фермі-частинок. Фермі-оператори народження і знищення.
4. Оператори для фізичних величин у представленні вторинного квантування.
5. Спінові оператори у представленні вторинного квантування. Оператори Паулі. Перетворення Йордана-Вігнера.
6. Формалізм операторів Хаббарда.
7. Метод наближеного вторинного квантування в теорії слабонеідеального Бозе-газу. Явище надплинності.
8. Основний стан системи ферміонів. Електронний фермі-газ твердих сфер.
9. Квантування поля. Квантування поля Шредингера. Квантування релятивістських полів. Теорема Паулі.

##### **Тема 2. Метод когерентних станів**

10. Означення когерентного стану.
11. Когерентні стани для бозонних систем. Оператори у представленні когерентних станів.

### **МОДУЛЬ 2**

#### **Змістовий модуль 2. Метод функцій Гріна.**

##### **Тема 3. Основи методу функцій Гріна.**

1. Реакція системи на зовнішнє збурення.
2. Двочасові температурні функції Гріна та кореляційні функції.

3. Спектральні представлення та рівняння руху для двочасових температурних функцій Гріна. Схеми розщеплень рівнянь руху та метод незвідних функцій Гріна.
4. Теорема Віка для середніх від добутків операторів народження і знищення.
5. Теорема Віка для спінових операторів та операторів Хаббарда.
6. Температурні мацубарівські функції Гріна. Теорія збурень та діаграмна техніка для кореляційних функцій та термодинамічного потенціалу.

## **МОДУЛЬ 3**

### ***Змістовий модуль 3. Ангармонізми коливань ґратки. Електрон-фононна взаємодія. Надпровідність.***

#### ***Тема 4. Ангармонізми коливань ґратки. Електрон-фононна взаємодія.***

1. Фонони у сильно ангармонічних кристалах. Методика незвідних двочасових функцій Гріна для ангармонічних систем.
2. Псевдогармонічне наближення та наближення самоузгоджених фононів.
3. Електрон-фононна взаємодія. Полярони. Ефективна взаємодія між електронами через фонони.

#### ***Тема 5. Надпровідність***

4. Теорія Бардіна-Купера-Шріфера. Куперівські пари. Фазовий перехід до надпровідного стану.
5. Основний стан та спектр збуджень в моделі БКШ. Перетворення Боголюбова.
6. Опис надпровідних парних кореляцій в методі функцій Гріна. Аномальні середні, рівняння Горькова.

### ***Змістовий модуль 4. Спінові та псевдоспінові системи.***

#### ***Тема 6. Спінові та псевдоспінові системи***

1. Рівняння для спінових функцій Гріна та розщеплення Тяблікова (в моделях Гайзенберга та де-Жена).
2. Розклади за оберненим радіусом взаємодії у діаграмних рядах для функцій Гріна у випадку систем з далекодією.
3. Спінові хвилі (магнони) та поляризаційні хвилі (м'які моди) у феромагнетиках та сегнетоелектриках.

#### 4. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин					
	Денна форма					
	Усього	у тому числі				
		Л	П	лаб	інд	ср
1	2	3	4	5	6	7
<b>МОДУЛЬ 1</b>						
<b>Змістовий модуль 1. Вторинне квантування. Когерентні стани</b>						
Тема 1. Представлення вторинного квантування.	40	8		8		24
Тема 2. Метод когерентних станів.	21	4		4		13
<i>Разом зм. модуль 1</i>	<i>61</i>	<i>12</i>		<i>12</i>		<i>37</i>
<b>МОДУЛЬ 2</b>						
<b>Змістовий модуль 2. Метод функцій Гріна</b>						
Тема 3. Основи методу функцій Гріна.	74	14		16		40
<i>Разом – зм. модуль 2</i>	<i>74</i>	<i>14</i>		<i>16</i>		<i>40</i>
<b>МОДУЛЬ 3</b>						
<b>Змістовий модуль 3. Ангармонізми коливань ґратки. Електрон-фононна взаємодія. Надпровідність.</b>						
Тема 4. Ангармонізми коливань ґратки. Електрон-фононна взаємодія.	12	6		4		6
Тема 5. Надпровідність	24	6		6		12
<i>Разом – зм. модуль 3</i>	<i>36</i>	<i>12</i>		<i>10</i>		<i>18</i>
<b>Змістовий модуль 4.</b>						
Тема 6. Спінові та псевдоспінові системи.	24	6		6		12
<i>Разом – зм. модуль 4</i>	<i>24</i>	<i>6</i>		<i>6</i>		<i>12</i>
<b>Усього годин</b>	<b>195</b>	<b>44</b>		<b>44</b>		<b>107</b>

#### 7. Теми семінарських занять

Семінарські заняття в курсі не передбачені.

#### 6. Теми практичних занять

Практичні заняття в курсі не передбачені.

## 8. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Діагоналізація квадратичних форм за бозе- та фермі-операторами народження і знищення.	2
2	Слабонеідеальний бозе-газ. Метод наближеного вторинного квантування.	2
3	Система ферміонів із парною взаємодією. Перетворення Боголюбова	2
4	Основні моделі теорії сильноскорельованих електронних систем. Модель Хаббарда та модель Фалікова-Кімбала	2
5	Когерентні стани та їх властивості. Статистична сума ідеального бозе-газу у представленні когерентних станів	2
6	Когерентні стани для фермі-систем. Грасманові змінні. Когерентні стани для спінових систем	2
7	Представлення взаємодії. Хронологічне впорядкування для операторів.	2
8	Двочасові температурні функції Гріна та кореляційні функції. Спектральна густина кореляційної функції. Представлення Лемана	2
9	Двочасові функції Гріна для ідеальних систем. Метод розщеплення для функцій Гріна. Функція Гріна для бозе (фермі) систем із парною взаємодією.	2
10	Мацубарівські функції Гріна для ідеальних систем. Основи діаграмної техніки. Правила побудови та підсумовування діаграм. Повна незвідна власноенергетична частина (масовий оператор)	4
11	Двочастинкова функція Гріна. Наближення хаотичних фаз. Електронний газ.	2
12	Основи діаграмної техніки для спінових операторів та операторів Хаббарда. Рівняння Дайсона та рівняння Ларкіна	4
13	Функція Гріна для гармонічних фононів. Ангармонізми. Псевдогармонічне наближення	2
14	Електрон-фононна взаємодія. Гамільтоніан БКШ	2
15	Спектр одночастинкових збуджень у моделі БКШ. Метод канонічного перетворення та метод функцій Гріна	2
16	Формалізм Намбу; теорія Еліашберга для електрон-фононного механізму надпровідності. Аномальні середні.	4
17	Феромагнетизм у моделі колективізованих електронів; спектр колективних збуджень.	2
18	Модель Гайзенберга; фазові переходи до феро- та антиферомагнітного стану при наявності конкуруючих взаємодій.	4
19	Модель Ізінга в поперечному полі (модель де-Жена); фазовий перехід до сегнетоелектричного стану.	2
	<b>Разом</b>	<b>42</b>

## 8. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
<b>VII семестр</b>		
1	Фермі та бозе системи. Симетризація та антисиметризація хвильових функцій	2
2	Представлення вторинного квантування. Оператори у зображенні	2

	вторинного квантування	
3	Бозе-оператори породження знищення. Фермі-оператори породження знищення.	4
4	Гамільтоніани у представленні вторинного квантування.	4
5	Спінові оператори у представленні вторинного квантування.Формалізм Операторів Хаббарда	2
6	Діагоналізація операторів у представленні вторинного квантування. Метод рівнянь руху	6
7	Квантування полів. Теорема Паулі	4
8	Когерентні стани для гармонічного осцилятора. Представлення когерентних станів. Властивості когерентних станів	5
9	Когерентні стани для фермі систем. Алгебра Грасмана	8
	<b>Разом за VII семестр</b>	<b>37</b>
<b>VII семестр</b>		
10	Відгук системи на зовнішнє збурення, функції Гріна	2
11	Функції Гріна та кореляційні функції	4
12	Властивості функцій Гріна. Полюси функцій Гріна	6
13	Мацубарівські функції Гріна	8
14	Діаграмна техніка для функцій Гріна	6
15	Рівняння Дайсона. Повна незвідна власноенергетична частина. Скелетні діаграми	8
16	Діаграмна техніка для спінових систем. Підсумовування за Дайсоном та підсумовування за Ларкіним.	6
17	Функціональне інтегрування та діаграмна техніка	6
18	Фонони у сильно ангармонічних кристалах. Електрон-фононна взаємодія	6
19	Надпровідність. Теорія Бардіна Купера Шріффера. Діаграмна техніка у теорії надпровідності.	6
20	Формалізм Намбу; теорія Еліашберга для електрон-фононного механізму надпровідності	6
21	Спінові системи. Модель Гайзенберга. ХУ-модель	6
22	Спінові та поляризаційні хвилі у феромагнетиках та сегнетоелектриках	6
	<b>Разом за VIII семестр</b>	<b>70</b>
	<b>Разом</b>	<b>107</b>

## **9. Індивідуальні завдання**

Індивідуальні завдання в курсі не передбачені.

## **10. Методи навчання**

Під час вивчення навчальної дисципліни «Квантова статистична фізика» застосовують такі методи навчання:

- *Наочні*: виведення на дошці основних співвідношень на лекціях і практичних заняттях;
- *Практичні*: завдання для лабораторних занять.

## **11. Методи контролю**

Контроль засвоєння матеріалу включає поточний контроль (підсумкове тестування змістовими модулями, по 20 балів та 10 балів у VII та VIII семестрах відповідно), оцінку роботи на лабораторних заняттях (10 балів), оцінку розширеної доповіді за тематикою курсу (20 та 10 балів у VII та VIII семестрах відповідно) — разом за семестр 50 балів. Заліковий бал у VII семестрі дорівнює семестровій оцінці, помноженій на 2. Іспит — 50 балів (VIII семестр). Сумарна оцінка за кожен семестр, таким чином, виставляється за 100-бальною шкалою.

## 12. Розподіл балів, що присвоюється студентам

*Розподіл балів, які отримують студенти*

### VII семестр

Поточне тестування та самостійна робота		Робота на лаб.	Доповідь	Сума
Змістовий модуль 1 Т1–Т2				
20		10	20	50x2=100

### VIII семестр

Поточне тестування та самостійна робота			Робота на лаб.	Доповідь	Підсумковий тест (екзамен)	Сума
Змістовий модуль 2	Змістовий модуль 3	Змістовий модуль 4				
Т3	Т4–Т5	Т6				
10	10	10	10	10	50	100

### Шкала оцінювання: Університету, національна та ECTS

Оцінка в балах	Оцінка ECTS	Визначення	За національною шкалою	
			Екзаменаційна оцінка, оцінка з диференційованого заліку	Залік
90–100	A	<i>Відмінно</i>	<i>Відмінно</i>	<i>Зараховано</i>
81-89	B	<i>Дуже добре</i>	<i>Добре</i>	
71-80	C	<i>Добре</i>		
61-70	D	<i>Задовільно</i>	<i>Задовільно</i>	
51-60	E	<i>Достатньо</i>		

## 13. Методичне забезпечення

До системи методичного забезпечення дисципліни належить програма курсу, робоча навчальна програма, тексти лекцій і пояснення до завдань для лабораторних робіт в електронному вигляді, тестові завдання для модульного контролю, тестові завдання для проведення іспиту, перелік теоретичних і практичних завдань для іспиту.

## 14. Рекомендована література

Базова

1. *М. М. Боголюбов*. Лекції з квантової статистики, — К.: Рад. школа, 1949.
2. *Д. Н. Зубарев*. Неравновесная статистическая термодинамика, — М.: Наука, 1971.
3. *Ч. Киттель*. Квантовая теория твердых тел, — М.: Наука, 1967.
4. *А. С. Давыдов*. Теория твердого тела, — М.: Наука, 1976.
5. *Р. Фейнман*. Квантовая статистическая механика, — М.: Мир, 1975.
5. *Н. Марч, У. Янг, С. Самптанпхар*. Проблема многих тел в квантовой механике, — М.: Мир, 1969.
6. *Н. Марч, М. Паринелло*. Коллективные эффекты в твердых телах и жидкостях, — М.: Мир, 1986.
7. *А. А. Абрикосов, Л. П. Горьков, И. Е. Дзялошинский*. Методы квантовой теории поля в статистической физике, — М.: Физматгиз, 1962.
8. *В. Г. Барьяхтар, В. Н. Криворучко, Д. А. Яблонский*. Метод функций Грина в теории магнетизма, — К.: Наукова думка, 1984.
9. *Л. Каданов, Г. Бейм*. Квантовая статистическая механика, — М.: Мир, 1964.
10. *Ю. А. Изюмов, М. И. Кацнельсон, Ю. Н. Скрябин*. Магнетизм коллективизированных электронов, — М.: Физматлит, 1994.
11. *В. С. Вонсовский, Ю. А. Изюмов, Е. З. Курмаев*. Сверхпроводимость переходных металлов, — М.: Наука, 1980.

#### **Допоміжна**

1. *С.В. Тябликов*. Методы квантовой теории магнетизма, — М.: Наука, 1975.
2. *В. Г. Вако*. Введение в микроскопическую теорию сегнетоэлектриков, — М.: Наука, 1973.
3. *А. И. Ахиезер, С. В. Пелетминский*. Методы статистической физики, — М.: Наука, 1977.
4. *Ф. А. Березин*. Метод вторичного квантования, — М.: Наука, 1986.
5. *А. Е. Zagoskin*. Quantum theory of Many Body Systems, — Berlin, New York, Heidelberg: Springer Verlag, 1998.
6. *A. L. Fetter, J. D. Walecka*. Quantum theory of many particle systems, — N. Y.: McGraw-Hill, 1971
7. *G. D. Mahan*. Many-particle physics, — N.Y.: Plenum press, 1993.

### ***15. Інформаційні ресурси***

1. Wikipedia.
2. Arxiv. [www.arxiv.org](http://www.arxiv.org)