

1. Опис навчальної дисципліни
(Витяг з робочої програми навчальної дисципліни
“Теорія квантових рідин”)

Найменування показників	Галузь знань, напрям підготовки, освітньо-кваліфікаційний рівень	Характеристика навчальної дисципліни
		<i>денна форма навчання</i>
Кількість кредитів – 2	галузь знань 0402 Фізико-математичні науки	Нормативна
Модулів – 1	Напрямок підготовки 6.040203 Фізика	<i>Рік підготовки:</i> 4-й
Змістових модулів – 2		<i>Семестр</i> 8-й
Загальна кількість годин – 64		<i>Лекції</i> 16 год.
Тижневих годин для денної форми навчання: <i>аудиторних – 2</i> <i>самостійної роботи студента – 2</i>	Освітньо-кваліфікаційний рівень: бакалавр	<i>Практичні, семінарські</i> -
		<i>Лабораторні</i> 16 год.
		<i>Самостійна робота</i> 32 год.
		<i>Вид контролю: залік</i>

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета: ознайомлення студентів із фізичними явищами, що відбуваються в квантових рідинах і газах і з методами їх дослідження на математичному рівні. Окремо звернено увагу на процеси в рідкому гелії-4.

Завдання: навчити студентів використовувати методи дослідження квантових рідин і газів.

В результаті вивчення даного курсу студент повинен:

знати теоретичні методи дослідження квантових Бозе-систем, як сильно-, так і слабковзаємодіючих, а також буде ознайомлений з їх основними фізичними властивостями.

вміти застосовувати методи, викладені в курсі.

Для слухачів курсу необхідними є знання з квантової статистики, проблеми багатьох тіл, а також з основ методу колективних змінних.

3. Програма навчальної дисципліни

МОДУЛЬ 1

Вступ. Що таке квантова рідина.

Змістовий модуль 1. Ідеальний і слабонеідеальний бозе-газ

Тема I. Основні принципи квантової статистичної механіки. (2 год)

1. Опис стану системи багатьох тотожних частинок у квантовій механіці.
2. Матриця густини багаточастинкових квантових систем.
3. s -частинкові матриці густини.
4. Термодинамічні функції і функції розподілу багаточастинкових квантових систем.
5. Флюктуації густини частинок і рідинний структурний фактор.

Тема II. Ідеальний квантовий газ (2 год)

6. Матриця густини ідеального квантового газу.
7. Статистична сума і одночастинкова матриця густини квантового ідеального газу.
8. Середня енергія і теплоємність бозе-газу.
9. Бозе-конденсація в ідеальному газі.
10. Структурний фактор і парна функція розподілу квантового газу.

Тема III. Слабконеідеальний бозе-газ (4 год)

11. Зв'язок бозе-конденсації з надплинністю в рідкому ^4He . λ -перехід.
12. Метод Боголюбова наближеного вторинного квантування.
13. Енергетичний спектр і явище надплинності.
14. Термодинамічні функції: енергія, теплоємність, бозе-конденсат.
15. Функції розподілу.

Змістовий модуль 2. Бозе-рідина

Тема IV. Бозе-рідина (4 год)

16. Рівняння Блоха в координатному представленні.
17. Повна матриця густини в наближенні хаотичних фаз.
18. Самоузгоджена теорія. Ефективна маса частинок.
19. Середня кінетична енергія і теплоємність рідкого ^4He .

20. Одночастинкова матриця густини бозе-рідини.
 21. Бозе-конденсат в надплинному ${}^4\text{He}$.
 22. Нові квантові рідини і гази.

Тема V. Домішкові стани в бозе-рідині

(4 год)

23. Енергетичний спектр домішок в квантовій рідині.
 24. Ефективна маса.
 25. Енергія “занурення” домішки.
 26. Атом ${}^3\text{He}$ як домішка в надплинному ${}^4\text{He}$.

4. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин					
	Денна форма					
	Усього	у тому числі				
		л	п	лаб	інд	сп
1	2	3	4	5	6	7
МОДУЛЬ 1						
<i>Змістовий модуль 1. Ідеальний і слабо неідеальний бозе-газ</i>						
Тема I. Основні принципи квантової статистичної механіки	8	2		2		4
Тема II. Ідеальний квантовий газ	8	2		2		4
Тема III. Слабконеідеальний бозе-газ	14	4		2		8
<i>Разом – зм. модуль 1</i>	30	8		6		16
<i>Змістовий модуль 2. Боозе-рідина</i>						
Тема IV. Бозе-рідина	16	4		4		8
Тема V. Домішкові стани в бозе-рідині	18	4		6		8
<i>Разом – зм. модуль 2</i>	34	8		10		16
Усього годин	64	16		16		32

5. Теми семінарських занять

Семінарські заняття в курсі не передбачені.

6. Теми практичних занять

Практичні заняття в курсі не передбачені.

7. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Хвильові функції системи ідеальних бозе-частинок в зображенні колективних змінних.	2
2	Розрахунок відносної кількості бозе-конденсату для системи твердих сфер. Оцінка статистичної суми багатобозонної системи.	2
3	Розрахувати енергію основного стану бозе-газу твердих сфер в наближенні Боголюбова з використання амплітуди s -розсіяння. Результат довести до числа.	2
4	Знайти зв'язок між середньоквадратичною флюктуацією кількості частинок $\langle (N - \langle N \rangle)^2 \rangle / \langle N \rangle$ і парною функцією розподілу.	2
5	Знайти зв'язок між величиною $\langle (N - \langle N \rangle)^3 \rangle / \langle N \rangle$ і тричастинковою функцією розподілу.	2
6	Розрахувати ефективну масу домішки ^3He в надплинному ^4He .	2
7	Розв'язок рівняння Шредингера для одновимірної системи твердих сфер.	2
8	Обчислення матриці густини і статистичної суми для D -вимірною	2
	Разом	16

8. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Хвильові функції системи ідеальних бозе-частинок в зображенні колективних змінних.	4
2	Розрахунок відносної кількості бозе-конденсату для системи твердих сфер. Оцінка статистичної суми багатобозонної системи.	4
3	Наближення Боголюбова. Розрахунок енергії основного стану бозе-газу твердих сфер	4
4	Знаходження зв'язку між середньоквадратичною флюктуацією кількості частинок $\langle (N - \langle N \rangle)^2 \rangle / \langle N \rangle$ і парною функцією розподілу.	4
5	Знаходження зв'язку між величиною $\langle (N - \langle N \rangle)^3 \rangle / \langle N \rangle$ і тричастинковою функцією розподілу.	4
6	Ефективна маса домішки ^3He в надплинному ^4He .	4
7	Розв'язок рівняння Шредингера для одновимірної системи твердих сфер.	4
8	Обчислення матриці густини і статистичної суми для D -вимірною	4
	Разом	32

10. Методи контролю

Контроль засвоєння матеріалу включає поточний контроль — два змістові модулі, $2 \times 25 = 50$ балів), — разом за семестр 50 балів, залікову бесіду (50 балів). Сумарна оцінка, таким чином, виставляється за 100-бальною шкалою.

11. Розподіл балів, що присвоюється студентам

Розподіл балів, які отримують студенти

Поточне тестування та самостійна робота		Залік	Сума
Змістовий модуль 1	Змістовий модуль 2		
Тема I–Тема III	Тема IV – Тема V		
25	25	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	Відмінно	Відмінно	Зараховано
81-89	B	Дуже добре	Добре	
71-80	C	Добре		
61-70	D	Задовільно	Задовільно	
51-60	E	Достатньо		

12. Методичне забезпечення

1. Вакарчук І. О. Вступ до проблеми багатьох тіл, Львів: Львівський національний університет ім. І. Франка, 1999.— 220 с.
2. Вакарчук І. О. Квантова механіка, Львів: Львівський національний університет ім. І. Франка, 2004.— 784 с.
3. Вакарчук І. О. Методичні вказівки до вивчення спецкурсу “Квантова статистична фізика” для студентів IV курсу фізичного факультету. Львів: ЛДУ ім. І. Франка, 1989.— 16 с.

13. Рекомендована література

Базова

4. М. М. Боголюбов. Лекції з квантової статистики, К: Радянська школа, 1949.
5. Н. Н. Боголюбов. Избранные труды. Т. 2., К: Наукова думка, 1970.
6. Bose–Einstein Condensation / Ed. by A. Griffin, D. W. Snoke, S. Stringari.— Cambridge: Cambridge University Press, 1995.— xiii + 602 p.
7. К. Хуанг, Статистическая механика, Москва: Мир, 1966– 520 с.; К. Huang, Statistical mechanics (Wiley, New-York, 1987).
8. Исихара, Статистическая физика, Москва: Мир, 1973– 471 с.

Допоміжна

1. І. О. Вакарчук, Журн. фіз. досл. **1**, 156 (1997).
2. І. О. Vakarchuk, Journ. Phys. Stud. **8**, № 3, 223 (2004).
3. J. A. Lipa at al., Phys. Rev. Lett. **84**, 4894 (2000).

14. Інформаційні ресурси

1. Wikipedia. <http://www.wikipedia.org>