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)

_____

"_____" _____ 2023 р.

Робоча програма навчальної дисципліни

Фізика квантових рідин

(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

2023 / 2024 навчальний рік

2

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою фізичного факультету

«30» серпня 2023 року, протокол № 6.

РОЗРОБНИК ПРОГРАМИ:
Лебедєв Сергій Вікторович, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри фізики низьких температур.

Програму схвалено на засіданні кафедри фізики низьких температур

Протокол від «29» серпня 2023 року № 1.

В.о. завідувача кафедри фізики низьких температур
_____ Валерій ШКЛОВСЬКИЙ
(підпис) (ім'я та прізвище)

Програму погоджено методичною комісією фізичного факультету

Протокол від «29» серпня 2023 року № 7

Голова методичної комісії фізичного факультету
_____ Микола МАКАРОВСЬКИЙ
(підпис) (ім'я та прізвище)

Гарант ОНП _____ Юрій БОЙКО
(підпис) (ім'я та прізвище)

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)

"_____"_____2023 р.

Робоча програма навчальної дисципліни

Фізика квантових рідин

(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

2023 / 2024 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою фізичного факультету

«30» серпня 2023 року, протокол № 6.

РОЗРОБНИК ПРОГРАМИ:
Орт Олександр Георгійович, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри фізики низьких температур,
Федорівська Ольга Вікторівна, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри фізики низьких температур.

Програму схвалено на засіданні кафедри фізики низьких температур

Протокол від «29» серпня 2023 року № 1.

В.о. завідувача кафедри фізики низьких температур

_____Валерій ШКЛОВСЬКИЙ
(підпис) (ім'я та прізвище)

Програму погоджено методичною комісією фізичного факультету

Протокол від «29» серпня 2023 року № 7

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 квантових рідин» складена відповідно до освітньо-наукової програми підготовки магістрів .

(назва рівня вищої освіти, освітньо-кваліфікаційного рівня)

Спеціальності - 104 Фізика та астрономія.

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Мета викладання навчальної дисципліни

Опанування студентами властивостей квантових рідин, іх відмінних якостей і методів її застосування в сучасній експериментальній фізиці і новітніх технологіях, а також у. надчутливих вимірюваннях в фізизиці низьких температур. Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної фізики квантових рідин і низьких температур. Здатність використовувати базові знання з фізики для розуміння природи квантових об'єктів:, а саме квантових рідин. Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації. Здатність самостійно навчатися і опановувати нові знання з фізики міцності та пластичності твердих тіл,.

1.2. Програмні компетентності, що забезпечуються дисципліною ОК8 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 11. Здатність дотримуватися принципів академічної доброчесності.

ЗК 12. Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово.

ЗК 13. Здатність спілкуватися іноземною мовою.

Фахові компетентності:

ФК 1. Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасноїфізики та астрономії.

ФК 3.Здатність презентувати результати проведених досліджень, а також сучасні концепції у фізиці та/або астрономії фахівцям і нефахівцям.

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 науковістандарти – 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	
33 год.	год.
Практичні, семінарські заняття	
год.	год.
Лабораторні заняття	
год.	год.
Самостійна робота	
57 год.	год.
Індивідуальні завдання	
Не передбачено	

1.6. Програмні результати навчання, що забезпечуються дисципліною ОК8 у відповідності до ОНП «Фізика»:

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 нарозвиток 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 напряму 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.

Студенти повинні знати : статистичні особливості, термодинамічні і кінетичні властивості квантових рідин; теоретичні моделі поведінки квантової рідини; способи отримання низьких і наднизьких температур, царину застосування квантових рідин і особливості їх впливу на структуру і властивості матеріалів.

вміти : вести та самостійно доповнювати конспекти лекцій, опрацьовувати як навчальну так і спеціальну фахову у тому рахунку і періодичну наукову літературу, здійснювати самоконтроль якості засвоєння теоретичних знань з використанням тестів.

У результаті вивчення даної навчальної дисципліни студент повинен показати такі ***результати навчання:***

1. Базові теоретичні знання про квантові рідини і тверді тіла в умовах низьких та наднизьких температур.
2. Базові теоретичні знання щодо фізичного змісту квантовості, теорії надплинності, квантових вихорів в He-II, двохрідинної моделі He – II.
3. Базові теоретичні знання щодо основних термінів та понять фізики квантових рідин, фізики надплинності і фізики низьких температур.
4. Базові навички самостійного навчання: вміти відшукувати потрібну інформацію щодо надплинних рідин і квантових об'єктів, а також застосувань, що експлуатуються при низьких температурах, у друкованих та/або електронних літературних джерелах. Аналізувати, систематизувати, розуміти, тлумачити та запам'ятовувати її, вести та самостійно доповнювати конспекти лекцій, опрацьовувати навчальну літературу, здійснювати самоконтроль якості засвоєння теоретичних знань з даної навчальної дисципліни.

2.Тематичний план навчальної дисципліни

Розділ 1. Квантові рідини

Тема 1.1. Природа квантових рідин.

Тема 1.2. Основні модельні уявлення о квантових бозе-фермі-рідинах

Розділ 2. Основні властивості He^4

Тема 2.1. Діаграма стану гелію. Фазовий перехід в рідкому гелії, He – I та He – II.

Тема 2.2. Надплинність рідкого He – II та критерій надплинності Ландау.

Тема 2.3. Експерименти, що підтверджують справедливість двохрідинної моделі He – II.

Розділ 3. Основи теорії рідкого He – II (квантової бозе-рідини).

Тема 3.1. Теорія надплинності Ландау та елементарні збудження в He – II (фонони та ротони).

Тема 3.2. Двохрідинна модель руху He – II та його термодинамічні характеристики.

Розділ 4. Гідродинаміка надплинного He – II та розповсюдження в ньому низкочастотних звукових хвиль.

Тема 4.1. Линеарізація повної системи гідродинамічних рівнянь (без урахування дисипативних ефектів).

Тема 4.2. Розповсюдження звукових хвиль (1-го, 2-го, 3-го, 4-го та 5-го типів) в надплинному He – II.

Тема 4.3. Течія надплинної компоненти He – II в тонких плівках та каналах.

Розділ 5. Конденсація Бозе-Енштейна та надплинність He –II.

Тема 5.1. Конденсація Бозе-Енштейна та природа надплинності He –II.

Тема 5.2. Рівняння Ейлера для надплинної та нормальної компонент He – II.

Розділ 6. Квантовані вихорі в рідкому He – II.

Тема 6.1. Динаміка прямолінійних вихрових нитей в рідкому He – II, що обертається.

Тема 6.2. Динаміка квантованих вихрових кілець при течії рідкого He – II крізь капілярні трубки.

3. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин											
	денна форма						заочна форма					
	усього	у тому числі					усього	у тому числі				
		л	п	лаб.	інд.	с. р.		л	п	лаб.	інд.	с. р.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Розділ 1. Квантові рідини												
Тема 1.1. Природа квантових рідин	5,5	1,5				4						
Тема 1.2. Основні модельні уявлення о квантових бозе-	5,5	1,5				4						

фермі-рідинах												
Разом за розділом 1	11	3				8						
Розділ 2. Основні властивості He^4												
Тема 2. 1. Діаграма стану гелію. Фазовий перехід в рідкому гелії, He – I та He – II	1,5	1,5				0						
Тема 2. 2. Надплинність рідкого He – II та критерій надплинності Ландау	7,5	2,5				5						
Тема 2.3. Експерименти, що підтверджують справедливість двохрідинної моделі He – II.	7,5	1,5				8						
Разом за розділом 2	18,5	5,5				13						
Розділ 3. Основи теорії рідкого He – II (квантової бозе-рідини).												
Тема 3.1. Теорія надплинності Ландау та елементарні збудження в He – II (фонони та ротони).	7,5	1,5				6						
Тема 3.2. Двохрідинна модель руху He – II та його термодинамічні характеристики.	9,5	3,5				6						
Разом за розділом 3	17	5				12						
Розділ 4. Гідродинаміка надплинного He – II та розповсюдження в ньому низкочастотних звукових хвиль.												
Тема 4.1. Линеарізація повної системи гідродинамічних рівнянь (без урахування дисипативних ефектів).	9,5	3,5				6						
Тема 4.2. Розповсюдження звукових хвиль (1-го, 2-го, 3-го, 4-го та 5-го типів) в надплинному He – II.	9,5	3,5				6						

Тема 4.3. Течія надплинної компоненти He – II в тонких плівках та каналах	1,5	1,5				0						
Разом за розділом 4	20,5	8,5				12						
Розділ 5. Конденсація Бозе-Енштейна та надплинність He – II.												
Тема 5.1. Конденсація Бозе-Енштейна та природа надплинності He –II.	10	4				6						
Тема 5.2. Рівняння Ейлера для надплинної та нормальної компонент He – II.	1,5	1,5				0						
Разом за розділом 5	11,5	5,5				6						
Розділ 6. Квантовані вихорі в рідкому He – II.												
Тема 6.1. Динаміка прямолінійних вихрових нитей в рідкому He – II, що обертається.	1,5	1,5				0						
Тема 6.2. Динаміка квантованих вихоревих кілець при течії рідкого He – II крізь капілярні трубки.	10	4				6						
Разом за розділом 6	11,5	5,5				6						
Усього годин	90	33				57						

5. Завдання для самостійної робота

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин	
1	Опрацювати тему «Квантові бозе- та фермі рідини у Всесвіті та мікросвіті»	4	опитування
2	Опрацювати тему «Здобуття критерію надплинності Ландау в капілярних трубках»	4	опитування
3	Ознайомитися з експериментами П.Л. Капиці та Е.Л. Андронікашвілі, що підтверджують двохрідинну модель He- II, та вміти надати їх фізичне пояснення	5	опитування
4	Студіювати фейнманівську модель фотонів	8	опитування
5	Вивчити і скласти систематичне уявлення про термодинамічні характеристики рідкого He - II	6	опитування
6	Ознайомитися з дисипативними процесами в рідкому He - II	6	опитування
7	Дослідити експериментальне визначення швидкості звуків	6	опитування

	в рідкому He – II		
8	Детально вивчити феноменологічні теорії надплинності Р. Фейнмана та М.М. Боголюбова	6	опитування
9	Детально вивчити феноменологічні теорії надплинності В. Гінзбурга-Л. Пітаєвського	6	опитування
10	Знайти і інформаційних джерелах опис експериментів, що підтверджують існування квантованих вихорів в рідкому He – II і вміти їх теоретично обгрунтувати	6	опитування
	Разом	57	

6. Індивідуальні завдання

7. Методи контролю

7.1. Поточний контроль – опитування під час лекцій і консультацій протягом семестру.
7.2. Семестровий підсумковий контроль – екзамен.

8. Схема нарахування балів

для підсумкового семестрового контролю при проведенні семестрового екзамену

Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання							Екзамен	Сума
Розділ 1	Розділ 2	Розділ 3	Розділ 4	Розділ 5	Розділ 6	Разом		
Т1.1-Т1.2 **6 балів**	Т2.1.-Т.2.3 **6 балів**	Т3.1-Т.3.2 **7 балів**	Т4.1-Т.4.3 **7 балів**	Т5.1-Т5.2 **7 балів**	Т6.1-Т6.2 **7 балів**	40 балів	60 балів	100 балів

Т1, Т2 ... – теми розділів.

Критерії оцінювання

1. Оцінка рівня знань:
- глибина і міцність знань про фізику надпровідності і фізику конденсованих середовищ; знання основних теоретичних моделей квантових рідин та їх основних властивостей**;**
- рівень мислення та вміння синтезувати знання з окремих тем (наприклад, Т.4.2, Т.6.1);
- вміння давати точні формулювання та правильно користуватись понятійним апаратом фізики надплинності;
- культура відповіді (грамотність, логічність і послідовність викладу).
2. Оцінка навичок самостійної роботи;
- навички пошуку необхідної літератури теоретичного та експериментального характеру з галузі фізики надплинності;
- орієнтація в потоці інформації з обраної галузі та тематики;
- навички ведення записів (складання плану, конспекту, виступу);
- навички науково-пошукової роботи.

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка	
	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. Балла Д.Д., Білецький В.І., Бондаренко О.В. Основи фізики квантових рідин. Навчальний посібник. Харків: ХНУ, 2005. – 85 с.
2. Свідзинський А. В. Математичні методи теоретичної фізики. У 2-х т. — Вид. 4-е, доповн. і переробл. — К. : Ін-т теорет. фізики ім. М. М. Боголюбова, 2009.
3. Свідзинський А. В. Мікроскопічна теорія надпровідності: монографія. — Луцьк: ВНУ ім. Лесі Українки, 2011. — 422 с.
4. Франів А. Фізика низьких температур : навч. посібник / А. Франів, В. Стадник, В. Курляк. – Львів : ЛНУ іменіІвана Франка, 2016. – 362 с.
5. Різак В.М., Різак І.М., Рудавський Е.Я. Кріогенна фізика і техніка.– К. Наукова думка, 2006.

Допоміжна література

1. Ровенчак А.А. Статистика Бозе і дробові статистики в теорії багаточастинкових систем і суміжних задачах. – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2018. – 316 с. http://ktf.lnu.edu.ua/books/Rovenchak-monogr.pdf
2. Волков С.В., Ковальчук Є.П., Огенко В.М., Решетняк О.В. Нанохімія. Наносистеми. Наноматеріали. – Київ: Наукова думка, 2008. – 424 с.