

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра фізики низьких температур

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Проректор з науково-педагогічної
роботи

_____” _____ 2021 р.

Робоча програма навчальної дисципліни

Спінова динаміка феромагнетиків

(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-професійна програма «Фізика»

спеціалізація _____

(шифр, назва)

вид дисципліни нормативна (обов'язкова)

факультет фізичний

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою фізичного факультету

«28» 06 2020 року, протокол № 5.

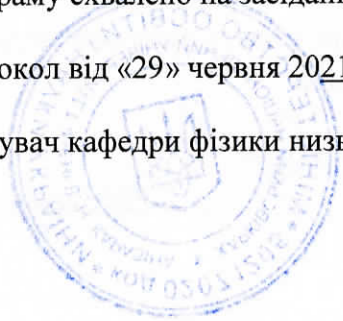
РОЗРОБНИК ПРОГРАМИ:

Шкловський Валерій Олександрович, доктор фізико-математичних наук, професор,
завідувач кафедри фізики низьких температур.

Програму схвалено на засіданні кафедри фізики низьких температур

Протокол від «29» червня 2021 року № 17.

Завідувач кафедри фізики низьких температур

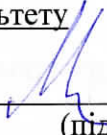



_____ Валерій ШКЛОВСЬКИЙ
(підпис) (ім'я та прізвище)

Програму погоджено методичною комісією фізичного факультету

Протокол від «31» серпня 2021 року № 1

Голова методичної комісії фізичного факультету


_____ Микола МАКАРОВСЬКИЙ
(підпис) (ім'я та прізвище)

Гарант ОПП


_____ Золтан ЗИМАН
(підпис) (ім'я та прізвище)

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни “Спінова динаміка феромагнетиків” складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки магістра

спеціальності 104 фізика і астрономія

освітня програма Фізика

спеціалізації Фізика

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Мета викладання навчальної дисципліни.

Ознайомити студентів з основними уявленнями спінової динаміки в рамках макроскопічного та квантового підходів, розглянути роль її у опису властивостей магнітнвпорядкованих речовин.

1.2. Основні завдання вивчення дисципліни

Отримання навичок вирішення теоретичних і практичних завдань пов'язаних з особливостями спінової динаміки при дослідженні магнітних статичних та резонансних властивостей магнітнвпорядкованих речовин в певних температурних інтервалах.

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	1-2-й
Семестр	
3-й	2-3-й
Лекції	
27 год.	год.
Практичні, семінарські заняття	
	год.
	год.
Самостійна робота	
63 год.	год.
Індивідуальні завдання	
	год.

1.5. Заплановані результати навчання

За результатами вивчення даного курсу студент зобов'язаний вміти застосовувати теорію спінової динаміки у вирішенні конкретних задач при дослідженні магнітних

властивостей, вміти аналізувати отримані результати досліджень статичних та резонансних властивостей магнітних матеріалів.

2. Тематичний план навчальної дисципліни

Тема 1. Обмінна модель феромагнетика. Спінові хвилі в моделі одновимірного спінового ланцюжка.

Молекула водню. Гамільтоніан молекули водню. Власні значення енергії. Обмінна енергія. Спіновий гамільтоніан молекули водню. Обмінний гамільтоніан феромагнетика. Спіновий гамільтоніан феромагнетика з урахуванням енергії феромагнетика в магнітному полі. Спіновий гамільтоніан одновимірного спінового ланцюжка. Енергія основного та збудженого станів. Перетворення Фур'є. Спінові хвилі. Магнітний момент магнона.

Тема 2. Квантова теорія спінових хвиль.

Оператор спінового відхилення. Оператори вторинного квантування. Співвідношення комутації для операторів вторинного квантування. Підстановка Хольштейна-Примакова. Перетворення Фур'є. Діагоналізація спінового гамільтоніана. Закон дисперсії спінових хвиль. Квазіімпульс. Енергетична щілина у спектрі спінових хвиль.

Тема 3. Термодинаміка спінових хвиль.

Газ магنونів. Застосування статистики Бозе-Ейнштейна до ідеального газу магنونів. Термодинамічний потенціал ідеального газу магنونів. Закон ступеня $3/2$ Блоха для намагніченості. Спінова теплоємність при низьких температурах.

Тема 4. Макроскопічна спінова динаміка феромагнетиків.

Рівняння руху магнітного моменту. Функціонал вільної енергії з урахуванням енергії анізотропії, магнітопружної енергії, енергії розмагнічуючого поля, енергії феромагнетика в магнітному полі. Ефективне поле.

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
Тема 1. Обмінна модель феромагнетика. Спінові хвилі в моделі одновимірного спінового ланцюжка.	20	5				15						
Тема 2. Квантова теорія спінових хвиль.	23	7				16						
Тема 3. Термодинаміка спінових хвиль.	20	6				14						
Тема 4. Макроскопічна спінова динаміка феромагнетиків	27	9				18						
Усього годин	90	27				63						

4. Теми практичних занять

Не передбачені навчальним планом

5. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Опрацювання навчального матеріалу за наступними темами	Кількість годин
1	Ознайомитися з класом твердих тіл – феромагнетиками. Опанувати модель одновимірного спінового ланцюжка	15
2	Дослідити проблему взаємодії спінових хвиль з дефектами решітки.	16
3	Ознайомитися з гамільтоніаном взаємодії спінових хвиль як з парамагнітними, так і з діамагнітними домішками решітки, а також з зрахунком вкладу цієї взаємодії в теплопровідність феромагнетика при низьких температурах.	14
4	Скласти докладний аналіз енергії феромагнетика в магнітному полі. Опанувати поняття ефективного поля.	18
	Разом	63

6. Індивідуальні завдання

Не передбачені навчальним планом

7. Методи контролю

У навчальному процесі використовуються наступні види контролю: поточний та семестровий підсумковий контроль.

Поточний контроль проводиться на заняттях як індивідуальне опитування.

Семестровий підсумковий контроль застосовується у вигляді письмового заліку.

8. Схема нарахування балів

для підсумкового семестрового контролю при проведенні залікової роботи

Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання		Залікова робота	Сума
Розділ 1	Разом		
T1–T4: 4 x 10 балів = 40 балів	40 балів	60 балів	100 балів

T1, T2 ... – теми розділів.

Критерії оцінювання

90-100: під час опитувань продемонстровано ґрунтовні знання в предмету і вміння самостійно мислити і опрацьовувати інформацію; ґрунтовні відповіді на усі питання залікового завдання.

70-89: під час опитувань виявлено деякі недоліки знання в предмету і вміння опрацьовувати інформацію; під час опитування і екзамену відповіді містять незначні помилки.

50-69: під час опитувань виявлено значні помилки; обмежені відповіді в заліковій роботі містять суттєві помилки у висвітленні частини або всіх питань.

1-49: низький рівень підготовки і виконання залікової роботи, відсутність зрозумілої відповіді на усі питання залікової роботи.

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка
	для дворівневої шкали оцінювання
90 – 100	зараховано
70-89	
50-69	
1-49	не зараховано

6. Рекомендована література.

Основна література.

1. А. И. Ахиезер, В. Г. Барьяхтар, С. В. Пелетминский. Спиновые волны Наука. М: 1967. 368 с.
2. Л. Д. Ландау Е. М. Лифшиц. Квантовая механика. М: Наука. 1963. 451 с.
3. Е. С. Боровик, А. С. Мильнер, В. В. Еременко. Лекции по магнетизму. Из-во Харьковского госуниверситета. 1972. 115 с.
4. В. Г. Барьяхтар, В. Н. Криворучко, Д. А. Яблонский. Функции Грина в теории магнетизма. Киев; Наукова думка, 1984, 336 с.
5. А. И. Ахиезер, В. Г. Барьяхтар, М. И. Каганов. УФН. 1962. т. 72, с. 3–36.

Додаткова література

1. С. В. Вонсовский. Магнетизм. М: Наука. 1971. 204 с.
2. Е.С Боровик, А.С. Мильнер. Лекции по магнетизму. Из-во Харьковского госуниверситета. 1960. 368 с.

3. Д. Маттис. Теория магнетизма. М: Мир. 1967.
4. М. И. Каганов, Н. Б. Пустильник. Магноны, магнитные поляроны, магнитостатические волны. УФН. 1997. Т. 167, № 2, с. 191–207.
5. А. А. Бугрий, В. М. Локтев. «К теории Бозе–Эйнштейновской конденсации: о возможности конденсации ферромагнонов при высоких температурах, ФНТ, 2007, т. 33, № 1, с. 51–67

7. Посилання на інформаційні ресурси в Інтернеті, відео-лекції, інше методичне забезпечення

1. Google. Відео-лекції. Лекторій МФТИ – відео-лекції по физике.

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра фізики низьких температур

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Проректор з науково-педагогічної
роботи

“ _____ ” _____ 2021 р.

Робоча програма навчальної дисципліни

Спінова динаміка феромагнетиків

(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 (обов'язкова)

факультет фізичний

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою фізичного факультету

«28» 06 2020 року, протокол № 5.

РОЗРОБНИК ПРОГРАМИ:


Шкловський Валерій Олександрович, доктор фізико-математичних наук, професор,
завідувач кафедри фізики низьких температур.

Програму схвалено на засіданні кафедри фізики низьких температур

Протокол від «24» 06 2020 року № ____.

Завідувач кафедри фізики низьких температур





_____ Валерій ШКЛОВСЬКИЙ
(підпис) (ім'я та прізвище)


Програму погоджено методичною комісією фізичного факультету

Протокол від «25» 06 2020 року № 10

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 “Спінова динаміка феромагнетиків” складена відповідно до освітньо-наукової програми підготовки магістра

спеціальності 104 фізика і астрономія

освітня програма Фізика

спеціалізації Фізика

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Мета викладання навчальної дисципліни.

Ознайомити студентів з основними уявленнями спінової динаміки в рамках макроскопічного та квантового підходів, розглянути роль її у опису властивостей магнітновпорядкованих речовин.

1.2. Основні завдання вивчення дисципліни

Отримання навичок вирішення теоретичних і практичних завдань пов'язаних з особливостями спінової динаміки при дослідженні магнітних статичних та резонансних властивостей магнітновпорядкованих речовин в певних температурних інтервалах.

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	
Семестр	
3-й	
Лекції	
36 год.	год.
Практичні, семінарські заняття	
	год.
	год.
Самостійна робота	
54 год.	год.
Індивідуальні завдання	
	год.

1.5. Заплановані результати навчання

За результатами вивчення даного курсу студент зобов'язаний вміти застосовувати теорію спінової динаміки у вирішенні конкретних задач при дослідженні магнітних властивостей, вміти аналізувати отримані результати досліджень статичних та резонансних властивостей магнітних матеріалів.

2. Тематичний план навчальної дисципліни

Тема 1. Обмінна модель феромагнетика. Спінові хвилі в моделі одновимірного спінового ланцюжка.

Молекула водню. Гамільтоніан молекули водню. Власні значення енергії. Обмінна енергія. Спіновий гамільтоніан молекули водню. Обмінний гамільтоніан феромагнетика. Спіновий гамільтоніан феромагнетика з урахуванням енергії феромагнетика в магнітному полі. Спіновий гамільтоніан одновимірного спінового ланцюжка. Енергія основного та збудженого станів. Перетворення Фур'є. Спінові хвилі. Магнітний момент магнона.

Тема 2. Квантова теорія спінових хвиль.

Оператор спінового відхилення. Оператори вторинного квантування. Співвідношення комутації для операторів вторинного квантування. Підстановка Хольштейна-Примакова. Перетворення Фур'є. Діагоналізація спінового гамільтоніана. Закон дисперсії спінових хвиль. Квазіімпульс. Енергетична щільність у спектрі спінових хвиль.

Тема 3. Термодинаміка спінових хвиль.

Газ магنونів. Застосування статистики Бозе-Ейнштейна до ідеального газу магنونів. Термодинамічний потенціал ідеального газу магنونів. Закон ступеня $3/2$ Блоха для намагніченості. Спінова теплоємність при низьких температурах.

Тема 4. Макроскопічна спінова динаміка феромагнетиків.

Рівняння руху магнітного моменту. Функціонал вільної енергії з урахуванням енергії анізотропії, магнітопружної енергії, енергії розмагнічуючого поля, енергії феромагнетика в магнітному полі. Ефективне поле.

3. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин												
	денна форма						заочна форма						
	усього	у тому числі					усього	у тому числі					
		о	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	
Тема 1. Обмінна модель феромагнетика. Спінові хвилі в моделі одновимірного спінового ланцюжка.	22	8				14							
Тема 2. Квантова теорія спінових хвиль.	21	9				12							
Тема 3. Термодинаміка спінових хвиль.	23	9				14							
Тема 4. Макроскопічна спінова динаміка феромагнетиків	24	10				14							
Усього годин	90	36				54							

4. Теми практичних занять

Не передбачені навчальним планом

5. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Опрацювання навчального матеріалу за наступними темами	Кількість годин
1	Ознайомитися з класом твердих тіл – феромагнетиками. Опанувати модель одновимірного спінового ланцюжка	14
2	Дослідити проблему взаємодії спінових хвиль з дефектами решітки.	12
3	Ознайомитися з гамільтоніаном взаємодії спінових хвиль як з парамагнітними, так і з діамагнітними домішками решітки, а також з розрахунком вкладу цієї взаємодії в теплопровідність феромагнетика при низьких температурах.	14
4	Скласти докладний аналіз енергії феромагнетика в магнітному полі. Опанувати поняття ефективного поля.	14
	Разом	54

6. Індивідуальні завдання

Не передбачені навчальним планом

7. Методи контролю

У навчальному процесі використовуються наступні види контролю: поточний та семестровий підсумковий контроль.

Поточний контроль проводиться на заняттях як індивідуальне опитування.

Семестровий підсумковий контроль застосовується у вигляді письмового заліку.

8. Схема нарахування балів

для підсумкового семестрового контролю при проведенні залікової роботи

Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання		Залікова робота	Сума
Розділ 1	Разом		
T1–T4: 4 x 10 балів = 40 балів	40 балів	60 балів	100 балів

T1, T2 ... – теми розділів.

Критерії оцінювання

90-100: під час опитувань продемонстровано ґрунтовні знання в предмету і вміння самостійно мислити і опрацювати інформацію; ґрунтовні відповіді на усі питання залікового завдання.

70-89: під час опитувань виявлено деякі недоліки знання в предмету і вміння опрацювати інформацію; під час опитування і екзамену відповіді містять незначні помилки.

50-69: під час опитувань виявлено значні помилки; обмежені відповіді в заліковій роботі містять суттєві помилки у висвітленні частини або всіх питань.

1-49: низький рівень підготовки і виконання залікової роботи, відсутність зрозумілої відповіді на усі питання залікової роботи.

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка
	для дворівневої шкали оцінювання
90 – 100	зараховано
70-89	
50-69	
1-49	не зараховано

6. Рекомендована література.

Основна література.

1. В. Г. Барьяхтар, В. Н. Криворучко, Д. А. Яблонский. Функції Гріна в теорії магнетизму. Київ; Наукова думка, 1984, 336 с.
2. А. І. Ахизер, В. Г. Барьяхтар, М. І. Каганов. УФН. 1962. т. 72, с. 3–36.
3. С. В. Вонсовський. Магнетизм. 1971. 204 с.
4. Е.С Боровик, А.С. Мильнер. Лекції по магнетизму. ХНУ. 1960. 368 с.

