

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Кафедра теоретичної фізики імені академіка І.М.Ліфшиця

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Декан факультету (директор
навчально-наукового інституту)
фізичний факультет
(вказати назву структурного підрозділу)



ВОВК Руслан Володимирович
(вказати П.І.Б керівника)
“ 30 ” 08 2025р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Низьковимірний магнетизм

(шифр і назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти другий (магістерський)

галузь знань Е – Природничі науки, математика та статистика
(шифр і назва)

спеціальність Е5 – Фізика та астрономія
(шифр і назва)

освітня програма освітньо-наукова програма
«Фізика».

спеціалізація _____
(шифр і назва)

вид дисципліни _____
за вибором
(обов'язкова / за вибором)

факультет _____
фізичний

2025/2026 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою фізичного факультету

“ 29 ” 08 2025 року, протокол № 10

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:

Славін Віктор Валерійович, доктор фіз-мат. наук, професор кафедри теоретичної фізики імені академіка І.М. Ліфшиця

Черановський Владислав Олегович, доктор фіз-мат. наук, професор кафедри теоретичної фізики імені академіка І.М. Ліфшиця

Програму схвалено на засіданні кафедри теоретичної фізики імені академіка І.М.Ліфшиця

Протокол від “ 27 ” 08 2025 року № 18

Завідувач кафедри теоретичної фізики імені академіка І.М.Ліфшиця

(підпис)

Рашба Г.І.
(прізвище та ініціали)

Програму погоджено з гарантом освітньої програми

фізика (спеціальність Е5 – фізика та астрономія)

назва освітньої програми

Гарант освітньої-наукової програми
(керівник проектної групи)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Програму погоджено методичною комісією

фізичного факультету

назва факультету, для здобувачів вищої освіти якого викладається навчальна дисципліна

Протокол від “ 28 ” 08 2025 року № 5

Голова методичної комісії фізичного факультету

(підпис)

Макаровський М.О.
(прізвище та ініціали)

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни “**Низьковимірний магнетизм**” складена відповідно до освітньо-професійної (освітньо-наукової) програми підготовки другого рівню вищої освіти – магістр

спеціальності (напряму) – 104 – «фізика та астрономія»

освітньо-наукова програма - фізика

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Мета викладання навчальної дисципліни

Метою викладання навчальної дисципліни «Низьковимірний магнетизм» є надання студентам кафедри теоретичної фізики поглиблених уявлень про основи сучасної квантової теорії магнетизму як одного з прикладів теорії сильно корельованих електронних систем, про точні та наближені методи побудови енергетичного спектра та термодинаміки ізотропної та анізотропної моделі Гейзенберга для різної розмірності спінової змінної та магнітної комірки.

Предметом вивчення навчальної дисципліни «Низьковимірний магнетизм» є основи сучасної квантової теорії магнетизму як одного з прикладів теорії сильно корельованих електронних систем, точні та наближені методи побудови енергетичного спектра та термодинаміки ізотропної та анізотропної моделі Гейзенберга для різної розмірності спінової змінної та магнітної комірки.

1.2. Основні завдання вивчення дисципліни

Основними завданнями вивчення дисципліни «Низьковимірний магнетизм» є навчити студентів

- сучасним основам квантової теорії магнетизму,
- точним та наближеним методам розрахунків енергетичних спектрів та термодинамічних характеристик магнетиків,
- користуючись навчальною та довідковою літературою, обирати адекватні методи вирішення задач фізики магнетизму.

Компетентності, що забезпечуються дисципліною:

- Здатність розв’язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми з фізики та/або астрономії у професійній діяльності або у процесі подальшого навчання, що передбачає застосування певних теорій і методів фізики та/або астрономії і характеризується складністю та невизначеністю умов (ІК).

- Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу (ЗК-1).
- Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях (ЗК-2).
- Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій (ЗК-3).
- Здатність бути критичним і самокритичним (ЗК-4).
- Здатність приймати обґрунтовані рішення (ЗК-5).
- Навички міжособистісної взаємодії (ЗК-6).
- Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт (ЗК-8).
- Визначеність і наполегливість щодо поставлених завдань і взятих обов’язків (ЗК-9).
- Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово (ЗК-12).
- Здатність спілкуватися іноземною мовою (ЗК-13).
- Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної фізики та астрономії (ФК-1).
- Здатність працювати із науковим обладнанням та вимірювальними приладами, обробляти та аналізувати результати досліджень (ФК-4).

- Здатність виконувати обчислювальні експерименти, використовувати чисельні методи для розв'язування фізичних та астрономічних задач і моделювання фізичних систем (ФК-5).
- Здатність моделювати фізичні системи та астрономічні явища і процеси (ФК-6).
- Здатність використовувати базові знання з фізики та астрономії для розуміння будови та поведінки природних і штучних об'єктів, законів існування та еволюції Всесвіту (ФК-7).
- Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації (ФК-9).
- Здатність самостійно навчатися і опановувати нові знання з фізики, астрономії та суміжних галузей (ФК-10).
- Усвідомлення професійних етичних аспектів фізичних та астрономічних досліджень (ФК-12).
- Орієнтація на найвищі наукові стандарти - обізнаність щодо фундаментальних відкриттів та теорій, які суттєво вплинули на розвиток фізики, астрономії та інших природничих наук. (ФК-13).
- Здатність здобувати додаткові компетентності через вибіркові складові освітньої програми, самоосвіту, неформальну та інформальну освіту (ФК-14).

1.3. Кількість кредитів – 5.

1.4. Загальна кількість годин – 150.

1.5. Характеристика навчальної дисципліни
За вибором
Денна форма навчання
Рік підготовки
1-й
Семестр
2-й
Лекції
24 год.
Практичні, семінарські заняття
24 год.
Лабораторні заняття
Не передбачені навчальним планом
Самостійна робота
102 год.
Індивідуальні завдання
Не передбачені навчальним планом
Екзамен

1.6. Заплановані результати навчання

Згідно з вимогами освітньо-професійної (освітньо-наукової) програми студенти повинні досягти таких результатів навчання:

опанувати статистичні особливості, термодинамічні і кінетичні властивості низьковимірних магнетиків при низьких температурах обумовлені обмівною взаємодією та електронами провідності;

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.

Програмні результати навчання, що забезпечуються дисципліною:

- 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-1).

- 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-2).

- Знати і розуміти експериментальні основи фізики: аналізувати, описувати, тлумачити та пояснювати основні експериментальні підтвердження існуючих фізичних теорій (ПРН-3).

- Знати основні актуальні проблеми сучасної фізики та астрономії (ПРН-5).

- Оцінювати вплив новітніх відкриттів на розвиток сучасної фізики та астрономії (ПРН-6).

- Розуміти, аналізувати і пояснювати нові наукові результати, одержані у ході проведення фізичних та астрономічних досліджень відповідно до спеціалізації (ПРН-7).

- Мати базові навички самостійного навчання: вміти відшуковувати потрібну інформацію в друкованих та електронних джерелах, аналізувати, систематизувати,

розуміти, тлумачити та використовувати її для вирішення наукових і прикладних завдань (ПРН-8).

- Вміти упорядковувати, тлумачити та узагальнювати одержані наукові та практичні результати, робити висновки (ПРН-11).

- Розуміти зв'язок фізики та/або астрономії з іншими природничими та інженерними науками, бути обізнаним з окремими (відповідно до спеціалізації) основними поняттями прикладної фізики, матеріалознавства, інженерії, хімії, біології тощо, а також з окремими об'єктами (технологічними процесами) та природними явищами, що є предметом дослідження інших наук і, водночас, можуть бути предметами фізичних або астрономічних досліджень (ПРН-13).

- Знати і розуміти роль і місце фізики, астрономії та інших природничих наук у загальній системі знань про природу та суспільство, у розвитку техніки й технологій та у формуванні сучасного наукового світогляду (ПРН-17).

- Розуміти значення фізичних досліджень для забезпечення сталого розвитку суспільства (ПРН- 22).

- Розуміти історію та закономірності розвитку фізики та астрономії (ПРН-23).

- Розуміти місце фізики та астрономії у загальній системі знань про природу і суспільство та у розвитку суспільства, техніки і технологій (ПРН-24).

- Мати навички самостійного прийняття рішень стосовно своїх освітньої траєкторії та професійного розвитку (ПРН-25).

2. тематичний план навчальної дисципліни

Розділ 1. Основи квантової теорії магнетизму. Обмінна взаємодія.

Тема 1. Магнетизм як квантове явище. Теорема Бора-Ван-Льовен.

Тема 2. Рівняння Шредінгера та Дірака.

Тема 3. Спінори. Спін електрона. Магнітний момент електрона.

Тема 4. Рівняння Паулі.

Тема 5. Модель Хаббарда.

Тема 6. t - J модель.

Тема 6. Модель Гейзенберга.

Тема 7. Анізотропні моделі Гейзенберга: xxz , x_{yz} та x_y моделі.

Тема 8. Модель Ізінга. Термодинаміка одновимірної моделі Ізінга.

Тема 9. Гамільтоніан моделі Гейзенберга зі спіном $S=1/2$.

Тема 10. Спектр енергетичних станів для моделі Гейзенберга зі спіном $S=1/2$.

Розділ 2. Чисельні методи в теорії магнетизму.

Тема 11. Метод точної діагоналізації Гамільтоніу. Основний стан та спектр низькоенергетичних збуджень антиферо- та феромагнетика.

Тема 12. Квантовий метод Монте-Карло. Інтеграли Фейнмана.

Тема 13. Квантові трансфер-матриці. Перетворення Тротера-Судзукі.

Тема 14. Моделювання еволюція квантової системи у методі Монте-Карло.

Тема 15. Stochastic Series Expansion метод у квантовому методі Монте-Карло.

Тема 16. Природа анізотропії магнітної взаємодії. Одно- та різноіонна анізотропія.

Тема 17. Класичні та напівкласичні моделі магнетиків.

3. Структура навчальної дисципліни

Назви модулів і тем	Кількість годин					
	Денна форма					
	Усього	у тому числі				
		л	п	лаб	інд	с.р
1	2	3	4	5	6	7
2 семестр						
Розділ 1. ОСНОВИ КВАНТОВОЇ ТЕОРІЇ МАГНЕТИЗМУ. ОБМІННА ВЗАЄМОДІЯ						
Тема 1	6	1	1			4
Тема 2	8	1	1			6
Тема 3	8	1	1			6
Тема 4	8	1	1			6
Тема 5	8	1	1			6
Тема 6	10	2	2			6
Тема 7	8	2	2			4
Тема 8	8	1	1			6
Тема 9	6	1	1			4
Тема 10	8	1	1			6
Разом за розділом 1	78	12	12			54
Розділ 2. СПІНОВІ МОДЕЛІ. ТОЧНІ ТА НАБЛИЖЕНІ МЕТОДИ В ТЕОРІЇ МАГНЕТИЗМУ						
Тема 11	9	1.5	1.5			6
Тема 12	10	1.5	1.5			7
Тема 13	10	1.5	1.5			7
Тема 14	10	1.5	1.5			7
Тема 15	11	2	2			7
Тема 16	11	2	2			7
Тема 17	11	2	2			7
Разом за розділом 2	72	12	12			48
Усього годин	150	24	24			102
Екзамен						

4. Теми семінарських (практичних, лабораторних) занять

Теми практичних занять визначаються відповідними темами курсу.

6. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	2	3
1.	Магнетизм як квантове явище. Теорема Бора-Ван-Льовен.	4
2.	Рівняння Шредінгера та Дірака.	6
3.	Спінори. Спін електрона. Магнітний момент електрона.	6
4.	Рівняння Паулі.	6
5.	Модель Хаббарда.	6
6.	t - J модель.	6
7.	Модель Гейзенберга.	4

	Анізотропні моделі Гейзенберга: xxz , xuz та xu моделі.	
8.	Модель Ізінга. Термодинаміка одновимірної моделі Ізінга.	6
9.	Гамільтоніан моделі Гейзенберга зі спіном $S=1/2$.	4
10.	Спектр енергетичних станів для моделі Гейзенберга зі спіном $S=1/2$.	6
11.	Метод точної діагоналізації Гамільтоніу. Основний стан та спектр низькоенергетичних збуджень антиферо- та феромагнетика.	6
12.	Квантовий метод Монте-Карло. Інтеграли Фейнмана.	7
13.	Квантові трансфер-матриці. Перетворення Тротера-Судзукі.	7
14.	Моделювання еволюції квантової системи у методі Монте-Карло.	7
15.	Stochastic Series Expansion метод у квантовому методі Монте-Карло.	7
16.	Природа анізотропії магнітної взаємодії. Одно- та різноіонна анізотропія.	7
17.	Класичні та напів класичні моделі магнетиків.	7
	Разом	102

6. Індивідуальні завдання

Не передбачені навчальним планом

7. Методи контролю

Поточне опитування, перевірка домашніх завдань, дві контрольні роботи, екзамен.

8. Схема нарахування балів

Поточний контроль, опитування, перевірка домашніх завдань самостійна робота				Сума
Розділ 1	Розділ 2	Дві контрольні роботи	Екзамен	
T1-T5	T6-T18			
20	20	10+10	40	100

Для зарахування розділів 1-2 треба написати контрольну роботу та виконати домашні завдання і набрати у підсумку не менше 15 балів (10+5) за кожний із двох розділів.

Для допуску до підсумкового семестрового контролю студент повинен здати 2 розділи та набрати у підсумку не менше 30 балів.

Екзаменаційний білет складається з двох теоретичних питань та з двох задач. Максимальний бал за кожний з пунктів білету – 10. Для успішної здачі письмового екзамену треба набрати у підсумку не менше 20 балів а загалом не менше 50 балів за всі види контролю.

Критерії оцінювання письмової екзаменаційної роботи

У відповіді на теоретичне питання студент повинен продемонструвати знання теорії навчальної дисципліни «Низьковимірний магнетизм» та її понятійно-категоріального апарату, термінології, понять і принципів предметної області дисципліни.

Максимальні бали виставляються в разі чіткої, логічної, послідовної відповіді на поставлене питання, з виводами основних формул, формулюванням фізичних законів

У процесі оцінювання теоретичних завдань екзаменаційного білету враховуються:

- повнота розкриття питання (2 бали);
- уміння чітко формулювати визначення фізичних понять, термінів та пояснювати їх (2 бали);
- здатність аргументувати отриману відповідь (2 бали);
- здатність робити аналітичні міркування, порівняння, формулювання висновків (2 бали);
- логічна послідовність викладення матеріалу у відповіді на завдання (2 бали).

Рішення задач повинні бути обґрунтованими, з посиланням на відповідні фізичні закони та рівняння, які застосовуються при рішенні, з послідовними розрахунками всіх основних формул, доведеним до кінцевого результату з чіткою відповіддю на поставлене питання. За рішення задачі (практичного завдання) нараховуються такі бали:

1. Завдання розв'язано на оцінку 10 балів у випадку, коли студент отримав правильну відповідь і продемонстрував метод і спосіб її отримання.
2. Завдання розв'язано на оцінку 8-9 балів, коли студент не отримав правильну відповідь, але продемонстрував вірний метод і спосіб її отримання.
3. Завдання розв'язано частково на оцінку 5-7 балів, коли студент не отримав правильну відповідь, але частково розв'язав задачу та отримав деякі проміжні результати.
4. Завдання розв'язано на оцінку 0-4 балів, коли студент не отримав правильну відповідь, причому метод і спосіб розв'язання завдання були не вірними.

Екзамен зданий, якщо сумарна оцінка за письмову екзаменаційну роботу не менше 20 балів, а сумарний підсумковий бал не менше 50 балів.

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка за національною шкалою	
	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. Mattis D. The Theory of Magnetism. Springer, 1981
2. Akhiezer A.I., Bar'yakhtar V.G., Peletminskii S.V., Spin Waves (Amsterdam: North-Holland: 1968).
3. White R.M. Quantum Theory of Magnetism. Springer 2007.
4. Stanley H.E. Introduction to Phase Transitions and Critical Phenomena. Oxford Press, 1971.
5. Baxter R. Exactly Solved Models in Statistical Mechanics. Academic Press, 1982

Допоміжна література

1. Sandvik Anders W. Computational Studies of Quantum Spin Systems. Cond-mat arXiv (<https://arxiv.org/abs/1101.3281>)
2. Mikeska H.G., Kolezhuk A.K. One-dimensional magnetism. – Lect. Notes. Phys. – -645, P. 1-83. - Springer-Verlag : Berlin-Heidelberg. - 2004
3. Sklyanin E.K. Quantum Inverse Scattering Method. Selected Topics. – arXiv: hep/9211111 24 Nov. 1992

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

http://kaf-theor-phys.univer.kharkov.ua/presentations/1D%20Ising_2012.pdf

http://kaf-theor-phys.univer.kharkov.ua/presentations/Introduction_Magn.pdf