

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ МАГНЕТИЗМУ ІМЕНІ В.Г. БАР'ЯХТАРА
НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ
(ІМАГ НАН УКРАЇНИ)**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор
ІМаг НАН України
член-кор. НАН України

_____Олександр ТОВСТОЛИТКІН
«24» липня 2025 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ (Силабус)

Н 3 ВИБРАНІ РОЗДІЛИ ТЕОРЕТИЧНОЇ ФІЗИКИ 2

(шифр та назва дисципліни)

для аспірантів

спеціальності 105 (Е6) Прикладна фізика та наноматеріали
третього освітнього (освітньо-наукового) рівня
вищої освіти – доктора філософії

Київ – 2025

Розробник:

Доктор фіз.-мат. наук, професор

Джежеря Юрій Іванович

(підпис)

Робочу програму узгоджено науково-методичною радоюПротокол від 23.07.2025р. № 1

Голова науково-методичної ради _____Ольга САЛЮК

(підпис)

Робочу програму затверджено Вченою радою ІМаг НАН України

Протокол від 24 липня 2025 № 8-25

Голова Вченої ради _____Олександр ТОВСТОЛИТКІН

(підпис)

Робочу програму погоджено з гарантом освітньої програми (керівником освітньої програми): Фізика 25 липня 2025 р.

(назва освітньої програми)

Гарант освітньої програми _____Володимир ГОЛУБ

(підпис)

Пролонговано Вченою радою ІМаг НАН України:

навчальні роки пролонгації	Голова Вченої ради ІМаг НАН України	підпис	№ протоколу, дата протоколу
20____/ 20____			
20____/ 20____			
20____/ 20____			
20____/ 20____			



ВИБРАНІ РОЗДІЛИ ТЕОРЕТИЧНОЇ ФІЗИКИ 2

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Третій (освітньо-науковий)
Галузь знань	10 Природничі науки
Спеціальність	105 (Е6) Прикладна фізика та наноматеріали
Освітня програма	Прикладна фізика та наноматеріали
Статус дисципліни	Нормативна
Форма навчання	Очна (денна)
Рік підготовки, семестр	1 курс, осінній семестр
Обсяг дисципліни	2 кредити: 60 годин (денна: 28 годин – лекції, 32 години – СРС)
Семестровий контроль/контрольні заходи	Екзамен/МКР
Розклад занять	http://imag.kyiv.ua
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: професор Джежеря Юрій Іванович, dui_kpi@ukr.net моб. +38(050)9681446
Розміщення курсу	http://imag.kyiv.ua

Програма навчальної дисципліни

Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Опис дисципліни. Програму навчальної дисципліни «Вибрані розділи теоретичної фізики» складено відповідно до освітньо-наукової програми «Прикладна фізика та наноматеріали» підготовки доктора філософії спеціальності 105 (Е6) «Прикладна фізика та наноматеріали».

Вивчення цілісного курсу теоретичної фізики сприяє формуванню в аспірантів наукового світогляду і сучасного природничого мислення, а викладання вибраних розділів теоретичної фізики в інституті магнетизму враховує фахову орієнтацію майбутнього науковця. Під час навчання аспіранти опанують вміння застосовувати закони теоретичної фізики для дослідження різних фізичних систем та ознайомляться з основними типами спеціальних функцій Гріна, навчатися основних прийомів розрахунку рівнянь теоретичної фізики за допомогою функцій Гріна, а також опанують діаграмну техніку. Передбачено контроль якості отриманих знань у вигляді тестових завдань та модульної контрольної роботи.

Мета навчальної дисципліни. Метою навчальної дисципліни є розширення та поглиблення об'єму знань з теоретичної фізики та вдосконалення теоретичного апарату та методик розрахунків задач математичної фізики у аспірантів, а також підготовка майбутнього науковця-фахівця, який буде здатний коректно проводити теоретичну інтерпретацію одержаних експериментальних результатів на основі апарату математичної фізики.

Предмет навчальної дисципліни: методи та моделі теорії функцій Гріна, що застосовуються в теоретичній фізиці.

Програмні результати навчання:

Компетентності:

ЗК 1. Здатність проводити критичний аналіз, оцінку і синтез нових і складних ідей, переосмислювати наявне та створювати нове цілісне знання та/або професійну практику, розв'язувати значущі наукові та інші проблеми.

ЗК 2. Здатність використовувати у професійній діяльності сучасні знання з різних наук, у тому числі міждисциплінарного характеру.

ФК 01. Здатність проводити теоретичні й експериментальні дослідження, комбінувати та зв'язувати їх методи, інтерпретувати одержані результати з метою виявлення властивостей та характеристик досліджуваних об'єктів в галузі прикладної фізики та нанотехнологій

ФК 07. Здатність розуміти та застосовувати цифрові технології та прикладні математичні пакети для розв'язування фізичних задач, аналізу результатів експериментальних досліджень, моделювання фізичних процесів та систем.

Результати навчання:

ПРН 1. Системні знання у галузі фізики та інших природничих наук, включаючи оволодіння методами наукового дослідження при здійсненні професійної діяльності.

ПРН 3. Знання методики проведення теоретичних та експериментальних досліджень, основних принципів системного та синергетичного аналізу, розуміння методів моделювання та фізичних моделей в прикладній фізиці.

ПРН 6. Вміння орієнтуватися в наукових проблемах у професійній сфері, знаходити оптимальні шляхи їх розв'язання.

ПРН 7. Вміння критично аналізувати, оцінювати і синтезувати нові складні ідеї, які заслуговують на рецензовану публікацію на національному або міжнародному рівні.

ПРН 8. Вміння обирати теоретичні й експериментальні методи дослідження, відповідні методи системного і синергетичного аналізу, застосовувати моделі та методи моделювання та інноваційні підходи для розв'язання складних завдань і проблем в науково-дослідній та/або інноваційних сферах.

Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Пререквізити. Для успішного засвоєння курсу «Вибрані розділи теоретичної фізики» студент має опанувати наступні дисципліни першого (бакалаврського) рівня: «Диференціальні та інтегральні рівняння», «Спеціальні розділи математичного аналізу», всі розділи дисципліни «Методи математичної фізики», всі розділи дисципліни «Теоретична фізика».

Постреквізити. Навчальна дисципліна «Вибрані розділи теоретичної фізики» є однією з основ формування наукової складової структурно-логічної схеми освітньої програми. Компетентності, знання, уміння та досвід, отримані в процесі вивчення дисципліни «Вибрані розділи теоретичної фізики» використовуються при засвоєнні освітнього компонента «Фазові переходи та критичні явища» і є необхідними для якісного виконання наукових досліджень за темою дисертації.

Зміст навчальної дисципліни

Назви тем	Кількість годин		
	Всього	У тому числі	
		Лекції	СР
Розділ 1. Методи функцій Гріна в теоретичній фізиці.			
Тема 1.1. Математичний та фізичний зміст функцій Гріна.	2	1	1
Тема 1.2. Властивості функцій Гріна. Граничні умови.	2	1	1
Тема 1.3. Динамічна та статико-механічна інформація в функціях Гріна.	3	1	2
Тема 1.4. Апроксимація Хартрі та Хартрі-Фока.	3	1	2
Тема 1.5. Вплив зіштовхувань на функції Гріна.	3	1	2
Тема 1.7. Методи отримання апроксимацій для функції Гріна.	3	1	2
Розділ 2. Функції Гріна фермі-систем.			
Тема 2.1. Функція Гріна макроскопічної системи.	3	1	2
Тема 2.2. Функція Гріна ідеального фермі-газа.	3	1	2
Тема 2.3. Діаграмна техніка для фермі-систем.	4	2	2
Тема 2.4. Двочастинкова функція Гріна.	4	2	2
Тема 2.5. Похідні від функцій Гріна.	3	1	2
Тема 2.6. Температурні функції Гріна.	3	1	2
Розділ 3. Нерівноважні кореляції та функції Гріна.			
Тема 3.1. Термодинамічні функції Гріна.	4	2	2
Тема 3.2. Кореляції в частинній рівновазі.	4	2	2
Тема 3.3. Нерівноважні часові функції Гріна	4	2	2
Тема 3.4. Квантова кінетика з початковими кореляціями.	4	2	2
Тема 3.5. Наближення Т-матриці.	4	2	2
Разом	56	24	32
МКР	2	2	
Екзамен	2	2	
Всього годин	60	28	32

Навчальні матеріали та ресурси

Базова література.

1. Боголюбов М. М. Лекції з квантової статистики. Питання статистичної механіки квантових систем. Київ: Рад. школа, 1949, 228 с.
2. Стасюк І. В. Функції Гріна у квантовій статистиці твердих тіл. Львів: ЛНУ ім. Івана Франка, 2013, 392 с.
3. Landau L. D., Lifshitz E. M. Statistical Physics. Vol. 5 (3rd ed.). Butterworth-Heinemann, 1980, 544 p.

4. Швець В. Т. Метод функцій Гріна в теорії металів. Одеса: Латстар, 2002, 400 с.
5. Блажиєвський Л. Ф. Операторні методи квантової теорії: Текст лекцій. Львів: ЛНУ ім. Івана Франка, 1993, 64 с.

Допоміжна література.

6. Киттель Ч. Квантовая теория твердых тел.. М.: Наука, 1967.
7. Фейнман Р. Квантовая статистическая механика. М.: Мир, 1975.
8. В. Г. Барьяхтар, В. Н. Криворучко, Д. А. Яблонский. Функции Грина в теории магнетизма. Киев: Наукова Думка, 1984, 336 с.
9. Каданов Л., Бейм Г., Квантовая статистическая механика. Методы функций Грина в теории равновесных и неравновесных процессов. М.: Мир, 1964.
10. Зубарев Д. Н., Морозов В. Г., Рёпке Г. Статистическая механика неравновесных процессов. М.: Физико-математическая литература, 2002.
11. Ахиезер А. И., Пелетминский С. В. Методы статистической физики. М.: Наука, 1977.
12. Березин Ф. А. Метод вторичного квантования. М.: Наука, 1986.
13. Fetter A. L., Walecka J. D. Quantum theory of many particle systems. N. Y.: McGraw-Hill, 1971.
14. Mahan G. D. Many-particle physics. N.Y.: Plenum press, 1993.

Навчальний контент

Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття.

№	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СР)
1	Лекція 1. Методи функцій Гріна в теоретичній фізиці. Математичний та фізичний зміст функцій Гріна. Властивості функцій Гріна. Граничні умови. Динамічна та статико-механічна інформація в функціях Гріна. [1-3].
2	Лекція 2. Слабонеідеальний бозе-газ. Метод наближеного вторинного квантування. Діагоналізація квадратичних форм за бозе- та фермі-операторами народження і знищення. [7,12].
3	Лекція 3. Апроксимації для функцій Гріна. Апроксимація Хартрі та Хартрі-Фока. Вплив зіштовхувань на функції Гріна. Методи отримання апроксимацій для функцій Гріна. [1,3,5].
4	Лекція 4. Основні моделі теорії сильноскорельованих електронних систем. Модель Хаббарда та модель Фалікова-Кімбала. [6, 7, 10].
5	Лекція 5. Функції Гріна фермі-систем. Функція Гріна макроскопічної системи. Функція Гріна ідеального фермі-газа. Діаграмна техніка для фермі-систем. [1,2,4].
6	Лекція 6. Представлення взаємодії. Хронологічне впорядкування для операторів. [7,11,12].
7	Лекція 7. Функція Гріна для систем із парною взаємодією. Двочастинкова функція Гріна. Похідні від функцій Гріна. Основи діаграмної техніки для спінових операторів та операторів Хаббарда. Рівняння Дайсона та рівняння Ларкіна. [1,3,4].
8	Лекція 8. Двочасові функції Гріна для ідеальних систем. Метод розщеплення для функцій Гріна. Когерентні стани для фермі-систем. Грасманові змінні. Когерентні стани для спінових систем. [9,10,11].
9	Лекція 9. Інші типи функцій Гріна. Температурні функції Гріна. Термодинамічні функції Гріна. Функція Гріна для гармонічних фононів. Анггармонізми. Псевдогармонічне наближення. [1,2,5-7].

10	Лекція 10. Нерівноважні кореляції та функції Гріна. Кореляції в частинній рівновазі. Нерівноважні часові функції Гріна. [1-3].
11	Лекція 11. Спектр одночастинкових збуджень у моделі БКШ. Метод канонічного перетворення та метод функцій Гріна. [9,10,14].
12	Лекція 12. Наближення та функції Гріна. Квантова кінетика з початковими кореляціями. Наближення Т-матриці. Феромагнетизм у моделі колективізованих електронів; спектр колективних збуджень. [1,2,5,8,11,13].

Самостійна робота аспіранта

З метою чіткої організації самостійної роботи студентів і задля підвищення якості засвоєння навчального матеріалу та вироблення ґрунтовних навичок наукової діяльності пропонуються індивідуальні завдання у формі самостійної підготовки конспектів та рефератів із вибраних тем. Самостійна робота здобувача наукового ступеня доктора філософії є основним засобом засвоєння навчального матеріалу у вільний від навчальних занять час і включає:

№ з/п	Вид самостійної роботи	Кількість годин СРС
1	Підготовка до аудиторних занять	10
2	Підготовка до МКР	10
3	Підготовка до екзамену	12

Політика та контроль

Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які викладач ставить перед аспірантом:

- правила відвідування занять (згідно розкладу і згідно загально-інститутського розпорядку);
- правила поведінки на заняттях (активність на практичних заняттях є обов'язковою, бали за активність на практичних заняттях не ставляться, відключення телефонів є обов'язковим);
- правила призначення заохочувальних та штрафних балів (штрафні бали не призначаються, заохочувальні бали призначаються суворо згідно підрозділу 8 цього силабусу);
- політика дедлайнів та перескладань (згідно загально-інститутського розпорядку);
- політика щодо академічної доброчесності (згідно загально-інститутського розпорядку);

Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Поточний контроль: опитування за темою заняття, МКР.

Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

Семестрова атестація проводиться у вигляді екзамену. Для оцінювання результатів навчання застосовується 100-бальна рейтингова система і інститутська шкала.

Умови допуску до семестрового контролю: відсутні.

Рейтинг аспіранта з дисципліни складається з балів, які він отримує:

- 1) за роботу на аудиторних заняттях;
- 2) за модульну контрольну роботу (МКР);
- 3) за відповідь на заліку.

Система рейтингових балів

1) Аудиторні заняття. Ваговий коефіцієнт дорівнює 4. Максимальна кількість балів, які може отримати аспірант на лабораторних заняттях становить $12 \times 4 = 48$ бали. Нарахування балів на одному практичному занятті:

- відмінні відповіді 4 балів;
- дуже добрі, добрі відповіді 3,2 балів;
- задовільні, достатні відповіді 1 бал.

2) Модульна контрольна робота (МКР). Ваговий коефіцієнт дорівнює 12. Максимальна кількість балів за контрольну роботу становить $1 \times 12 = 12$ балів. Нарахування балів за контрольну роботу:

- «відмінно», повна відповідь (не менше 90 % потрібної інформації) 11-12 балів;
- «добре», достатньо повна відповідь (не менше 75 % потрібної інформації або незначні неточності) 8-10 балів;
- «задовільно», неповна відповідь (не менше 60 % потрібної інформації та деякі помилки) 6-7 балів;
- «незадовільно», незадовільна відповідь (менше 60 % потрібної інформації) 0.

3). Екзамен. Критерії оцінювання. Завдання містить два теоретичні питання, кожне з яких оцінюються у 20 балів. Всього $2 \times 20 = 40$ балів.

Нарахування балів за відповідь на заліку:

- повна відповідь (не менше 90 % потрібної інформації) 36-40 балів;
- достатньо повна відповідь (не менше 75 % потрібної інформації) 30-35 балів;
- неповна відповідь (не менше 60 % потрібної інформації) 24-29 балів;
- незадовільна відповідь (менше 60 % потрібної інформації) 0.

Якщо аспірант протягом семестру набрав понад 60 балів, він може отримати залік автоматом. Для виставлення фінальних оцінок рейтинг переводиться у оцінки відповідно до таблиці.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за інститутською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
90-100	Відмінно
75-89	Добре
60-74	Задовільно
Менше 60	Незадовільно
Не виконано інші умови допуску до заліку	Не допущено

Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Перелік питань, які виносяться на семестровий контроль:

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.
10. Означення когерентного стану.
11. Когерентні стани для бозонних систем. Оператори у представленні когерентних станів.
12. Реакція системи на зовнішнє збурення.
13. Двочасові температурні функції Гріна та кореляційні функції.
14. Спектральні представлення та рівняння руху для двочасових температурних функцій Гріна. Схеми розщеплень рівнянь руху та метод незвідних функцій Гріна.
15. Теорема Віка для середніх від добутків операторів народження і знищення.
16. Теорема Віка для спінових операторів та операторів Хаббарда.
17. Температурні мацубарівські функції Гріна. Теорія збурень та діаграмна техніка для кореляційних функцій та термодинамічного потенціалу.
18. Фонони у сильно ангармонічних кристалах. Методика незвідних двочасових функцій Гріна для ангармонічних систем.
19. Псевдогармонічне наближення та наближення самоузгоджених фононів.
20. Електрон-фононна взаємодія. Полярони. Ефективна взаємодія між електронами через фонони.
21. Теорія Бардіна-Купера-Шріфера. Куперівські пари. Фазовий перехід до надпровідного стану.
22. Основний стан та спектр збуджень в моделі БКШ. Перетворення Боголюбова.
23. Опис надпровідних парних кореляцій в методі функцій Гріна. Аномальні середні, рівняння Горькова.
24. Рівняння для спінових функцій Гріна та розщеплення Тяблікова (в моделях Гайзенберга та де-Жена).
25. Розклади за оберненим радіусом взаємодії у діаграмних рядах для функцій Гріна у випадку систем з далекодією.
26. Спінові хвилі (магнони) та поляризаційні хвилі (м'які моди) у феромагнетиках та сегнетоелектриках.