



ВИБРАНІ РОЗДІЛИ ТЕОРЕТИЧНОЇ ФІЗИКИ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Третій (освітньо-науковий)
Галузь знань	10 Природничі науки
Спеціальність	104 Фізика та астрономія
Освітня програма	Фізика
Статус дисципліни	Нормативна
Форма навчання	Очна (денна)
Рік підготовки, семестр	2 курс, осінній семестр
Обсяг дисципліни	3 кредити: 90 годин (денна: 13 годин – лекції, 13 годин – практичні, 64 години – СРС)
Семестровий контроль/контрольні заходи	Залік/МКР
Розклад занять	http://rozklad.kpi.ua/Schedules/ScheduleGroupSelection.aspx
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: д.ф.-м.н., проф. Решетняк Сергій Олександрович, r.sa@ukr.net
Розміщення курсу	https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=4008

Програма навчальної дисципліни

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

Опис дисципліни. Програму навчальної дисципліни «Вибрані розділи теоретичної фізики» складено відповідно до освітньої програми «Фізика» підготовки доктора філософії спеціальності 104 Фізика та астрономія. Вивчення цілісного курсу теоретичної фізики сприяє формуванню в аспірантів наукового світогляду і сучасного природничого мислення, а викладання вибраних розділів теоретичної фізики в технічному університеті 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. На практичних заняттях навчаться 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:

ЗК01. Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми дослідницького характеру, проводити критичний аналіз, оцінку і синтез нових та складних ідей, розуміти їхнє місце як в своїй професійній області, так і серед інших галузей науки та в культурному просторі; а також оцінювати та забезпечувати якість виконуваних науково-дослідних робіт.

ЗК07. Здатність працювати автономно.

ФК01. Здатність виконувати оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання у фізиці та/або астрономії і дотичних до них міждисциплінарних напрямках і можуть бути опубліковані у провідних наукових виданнях з фізики (астрономії) та суміжних галузей.

ФК04. Володіння методологією педагогічної та наукової діяльності в області фізики.

ФК05. Здатність створювати теоретичні моделі фізичних процесів у відповідності до вимог поставленої задачі.

Результати навчання:

ПРН01. Розуміти філософські концепції наукового світогляду, роль науки, пояснювати її вплив на суспільні процеси. Мати передові концептуальні та методологічні знання з фізики і на межі предметних галузей, а також дослідницькі навички, достатні для проведення наукових і прикладних досліджень на рівні останніх світових досягнень з відповідного напрямку, отримання нових знань та/або здійснення інновацій.

ПРН03. Уміти формулювати і перевіряти гіпотези; використовувати для обґрунтування висновків належні докази, зокрема, результати теоретичного аналізу, експериментальних досліджень і математичного та/або комп'ютерного моделювання, наявні літературні дані.

ПРН04. Вміти застосовувати знання основ аналізу та синтезу в різних предметних областях, критичного осмислення й розв'язання науково-дослідних проблем, розробляти та досліджувати концептуальні, математичні і комп'ютерні моделі процесів і систем, ефективно використовувати їх для отримання нових знань та/або створення інноваційних продуктів у фізиці та дотичних міждисциплінарних напрямках.

ПРН05. Уміти планувати і виконувати експериментальні та/або теоретичні дослідження з фізики та дотичних міждисциплінарних напрямків з використанням сучасних інструментів, критично аналізувати результати власних досліджень і результати інших дослідників у контексті усього комплексу сучасних знань щодо досліджуваної проблеми.

ПРН10. Уміти працювати автономно.

ПРН11. Уміти математично формулювати теоретичні моделі фізичних процесів у відповідності до вимог поставленої задачі.

2. 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.

3. Зміст навчальної дисципліни

Дисципліну структурно розділено на 3 розділа:

Розділ 1. Методи функцій Гріна в теоретичній фізиці.

Включає в себе теми:

Тема 1.1. Математичний та фізичний зміст функцій Гріна.

Тема 1.2. Властивості функцій Гріна. Граничні умови.

Тема 1.3. Динамічна та статико-механічна інформація в функціях Гріна.

Тема 1.4. Апроксимація Хартрі та Хартрі-Фока.

Тема 1.5. Вплив зіштовхувань на функції Гріна.

Тема 1.7. Методи отримання апроксимацій для функції Гріна.

Розділ 2. Функції Гріна фермі-систем.

Включає в себе теми:

Тема 2.1. Функція Гріна макроскопічної системи.

Тема 2.2. Функція Гріна ідеального фермі-газа.

Тема 2.3. Діаграмна техніка для фермі-систем.

Тема 2.4. Двочастинкова функція Гріна.

Тема 2.5. Похідні від функцій Гріна.

Тема 2.6. Температурні функції Гріна.

Розділ 3. Нерівноважні кореляції та функції Гріна.

Включає в себе теми:

Тема 3.1. Термодинамічні функції Гріна.

Тема 3.2. Кореляції в частинній рівновазі.

Тема 3.3. Нерівноважні часові функції Гріна.

Тема 3.4. Квантова кінетика з початковими кореляціями.

Тема 3.5. Наближення T-матриці.

4. 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. Блажисевський 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.

Інформаційні ресурси.

1. Науково-технічна бібліотека КПІ ім. Ігоря Сікорського <http://library.kpi.ua>.
2. Національна бібліотека України імені В.І. Вернадського: <http://www.nbuv.gov.ua/>
3. Науковий журнал «Український фізичний журнал», який входить до наукометричної бази Scopus: <https://ujp.bitp.kiev.ua/index.php/ujp>
4. Науковий журнал «Condensed Matter Physics», який входить до наукометричної бази Scopus: <http://www.icmp.lviv.ua/journal/>
5. Науковий журнал «Журнал фізичних досліджень», який входить до наукометричної бази Scopus: https://physics.lnu.edu.ua/jps/index_ua.html
6. Електронний кампус КПІ ім. Ігоря Сікорського, методичне забезпечення до кредитного модуля «Вибрані розділи теоретичної фізики» <http://login.kpi.ua>
7. Платформа дистанційного навчання "Сікорський", платформа MOODLE, методичне забезпечення до кредитного модуля «Вибрані розділи теоретичної фізики» <https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=4008>

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційна частина забезпечується інформаційно-рецептивним методом, надаючи базу для використання репродуктивного методу та методу проблемного викладу на практичних заняттях.

Лекційні заняття.

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
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. Література: [1], [2], [3].

	<p>Завдання на СРС. Слабонеідеальний бозе-газ. Метод наближеного вторинного квантування. Література: [7], [12].</p>
2	<p>Лекція 2. Апроксимації для функцій Гріна. Апроксимація Хартрі та Хартрі-Фока. Вплив зіштовхувань на функції Гріна. Методи отримання апроксимацій для функції Гріна. Література: [1], [3], [5]. Завдання для СРС. Основні моделі теорії сильноскорельованих електронних систем. Модель Хаббарда та модель Фалікова-Кімбала. Література: [6], [7], [10].</p>
3	<p>Лекція 3. Функції Гріна фермі-систем. Функція Гріна макроскопічної системи. Функція Гріна ідеального фермі-газа. Діаграмна техніка для фермі-систем. Література: [1], [2], [4]. Завдання для СРС. Представлення взаємодії. Хронологічне впорядкування для операторів. Література: [7], [11], [12].</p>
4	<p>Лекція 4. Функція Гріна для систем із парною взаємодією. Двочастинкова функція Гріна. Похідні від функцій Гріна. Література: [1], [3], [4]. Завдання для СРС. Двочасові функції Гріна для ідеальних систем. Метод розщеплення для функцій Гріна. Література: [9], [10], [11].</p>
5	<p>Лекція 5. Інші типи функцій Гріна. Температурні функції Гріна. Термодинамічні функції Гріна. Література: [1], [2], [5]. Завдання для СРС. Функція Гріна для гармонічних фононів. Ангармонізми. Псевдогармонічне наближення. Література: [6], [7], [5].</p>
6	<p>Лекція 6. Нерівноважні кореляції та функції Гріна. Кореляції в частинній рівновазі. Нерівноважні часові функції Гріна. Література: [1], [2], [3]. Завдання для СРС. Спектр одночастинкових збуджень у моделі БКШ. Метод канонічного перетворення та метод функцій Гріна. Література: [9], [10], [14].</p>
7	<p>Лекція 7. Наближення та функції Гріна. Квантова кінетика з початковими кореляціями. Наближення T-матриці. Література: [1], [2], [5].</p>

Завдання для СРС. Феромагнетизм у моделі колективізованих електронів; спектр колективних збуджень. Література: [8], [11], [13].
--

Практичні заняття.

№ з/п	Назва практичного заняття	Кількість ауд. годин
1	Діагоналізація квадратичних форм за бозе- та фермі-операторами народження і знищення.	1
2	Система ферміонів із парною взаємодією. Перетворення Боголюбова.	2
3	Когерентні стани та їх властивості. Статистична сума ідеального бозе-газу у представленні когерентних станів.	2
4	Когерентні стани для фермі-систем. Грасманові змінні. Когерентні стани для спінових систем.	2
5	Двочасові функції Гріна для ідеальних систем. Метод розщеплення для функцій Гріна.	2
6	Основи діаграмної техніки для спінових операторів та операторів Хаббарда. Рівняння Дайсона та рівняння Ларкіна.	2
7	Виконання МКР	2

6. 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	48
2	Підготовка до МКР	6
3	Підготовка до заліку	10

Зважаючи на те, що значна частина загального часу вивчення дисципліни відведена на самостійну роботу, студенти, готуючись до лекційних занять та доповідей, в першу чергу повинні ознайомитися з темою відповідного розділу, опрацювати матеріал за допомогою конспекту та підручників, список яких наведений у розділі 4.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які викладач ставить перед аспірантом:

- правила відвідування занять: відповідно до Наказу 1-273 від 14.09.2020 р. заборонено оцінювати присутність або відсутність здобувача на аудиторному занятті, в тому числі нараховувати заохочувальні або штрафні бали. Відповідно до РСО даної дисципліни бали нараховують за відповідні види навчальної активності на лекційних та практичних заняттях.

- правила поведінки на заняттях: студент має можливість отримувати бали за відповідні види навчальної активності на лекційних заняттях, передбачені РСО дисципліни. Використання засобів зв'язку для пошуку інформації на гугл-диску викладача, в інтернеті, в дистанційному курсі на платформі Сікорський здійснюється за умови вказівки викладача;
- політика дедлайнів та перескладань: якщо аспірант не проходив або не з'явився на МКР (без поважної причини), його результат оцінюється у 0 балів. Перескладання МКР здійснюється за узгодженням з викладачем;
- політика щодо академічної доброчесності: Кодекс честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» <https://kpi.ua/files/honorcode.pdf> встановлює загальні моральні принципи, правила етичної поведінки осіб та передбачає політику академічної доброчесності для осіб, що працюють і навчаються в університеті, якими вони мають керуватись у своїй діяльності, в тому числі при вивченні та складанні контрольних заходів з дисципліни «Вибрані розділи теоретичної фізики»;
- при використанні цифрових засобів зв'язку з викладачем (мобільний зв'язок, електронна пошта, переписка на форумах та у соцмережах тощо) необхідно дотримуватись загальноприйнятих етичних норм, зокрема бути ввічливим та обмежувати спілкування робочим часом викладача.

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (РСО)

Поточний контроль: опитування за темою заняття, МКР.

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

Семестровий контроль: залік.

Умови допуску до семестрового контролю: відсутні.

На першому занятті аспіранти ознайомлюються із рейтинговою системою оцінювання (РСО) дисципліни, яка побудована на основі «Положення про систему оцінювання результатів навчання», https://document.kpi.ua/files/2020_1-273.pdf

Система рейтингових балів та критерії оцінювання.

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

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

Практичні заняття.

Ваговий коефіцієнт дорівнює 10. Максимальна кількість балів, які може отримати аспірант на практичних заняттях становить $6 \times 5 = 60$ балів. Нарахування балів на одному практичному занятті:

- відмінні відповіді 9, 10 балів;
- дуже добрі відповіді 7, 8 балів;
- добрі відповіді 5, 6 балів;
- задовільні відповіді 3, 4 бала;
- достатні відповіді 1, 2 бала.

Модульна контрольна робота (МКР).

Ваговий коефіцієнт дорівнює 40. Максимальна кількість балів за контрольну роботу становить $1 \times 30 = 30$ балів. Нарахування балів за контрольну роботу:

- «відмінно», повна відповідь (не менше 90 % потрібної інформації) 35-40 балів;
 - «добре», достатньо повна відповідь (не менше 75 % потрібної інформації або незначні неточності) 25-34 балів;
 - «задовільно», неповна відповідь (не менше 60 % потрібної інформації та деякі помилки) 15-24 балів;
 - «незадовільно», незадовільна відповідь (менше 60 % потрібної інформації) 0.
- Якщо аспірант протягом семестру набрав не менше 60 балів, він отримує залік автоматом.

Таблиця 1 - Переведення рейтингових балів до оцінок за університетською шкалою

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно

Залік.

Якщо ж аспірант протягом семестру набрав менше 60 балів, він має скласти залікову контрольну роботу, ваговий коефіцієнт якої складає 100 балів. При цьому, стартовий рейтинг не враховується. Кількість набраних на заліковій контрольній роботі балів переводиться в оцінку за тою ж шкалою. Якщо аспірант набрав протягом семестру 60 балів і більше, але хоче підвищити свою рейтингову оцінку, він може це зробити у співбесіді з викладачем.

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

До системи методичного забезпечення дисципліни належить програма курсу, робоча програма навчальної дисципліни, тексти лекцій і пояснення до завдань для практичних робіт в електронному вигляді, тестові завдання для модульного контролю, перелік теоретичних і практичних завдань для заліку.

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.

Робочу програму навчальної дисципліни (Силабус):

Складено доцент кафедри загальної фізики, канд. фіз.-мат. наук, ст. н. с. Данилевич О. Г.

Ухвалено кафедрою загальної фізики (протокол № 7 від 06.06.2023 р.).

Погоджено Методичною комісією ФМФ (протокол № 10 від 27.06.2023 р.)