

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР
«ХАРКІВСЬКИЙ ФІЗИКО-ТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Генеральний директор


Микола ШУЛБГА
« 30 » _____ 2022 р.



РОБОЧА ПРОГРАМА
навчальної дисципліни

**Методи теоретичного опису нерелятивістських
і квантово-польових систем з порушеними симетріями**

Назва навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Доктор філософії
галузь знань	10 Природничі науки
спеціальність	104 фізика та астрономія
освітня програма	освітньо-професійна програма «Фізика та астрономія»
спеціалізація	
вид дисципліни	вибіркова за вільним вибором аспіранта
Інститут	Інститут теоретичної фізики імені О.І. Ахієзера ННЦ ХФТІ

2022 / 2023 навчальний рік

Програму рекомендовано до
затвердження Науково-технічною радою
ННЦХФТІ

Від "29" 11 2022 року, протокол № 6


Програму схвалено на засіданні Вченої ради Інституту теоретичної фізики
ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут»

від "19" 09 2022 року, протокол № 4

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:

д.ф.-м.н., с.н.с., Нурмагамбетов Олексій Юрійович _____

т.в.о. директора Інституту теоретичної фізики ННЦ «Харківський фізико-
технічний інститут»

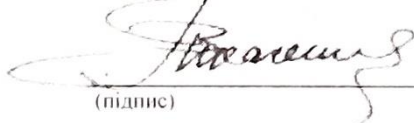

(підпис)

Леонід ДАВИДОВ
(прізвище та ініціали)

Програму погоджено з гарантом освітньо-професійної програми «Фізика та
астрономія»

назва освітньої програми

Гарант освітньо-професійної програми «Фізика та астрономія»


(підпис)

Віктор ТКАЧЕНКО
(прізвище та ініціали)

Вступ

Дисципліна «Методи теоретичного опису нерелятивістських і квантово-польових систем з порушеними симетріями» є частиною професійної підготовки аспірантів ННЦ ХФТІ за напрямом 10 Природничі науки, за спеціальністю – 104 фізика і астрономія, яка викладається протягом третього року навчання, за вільним вибором аспіранта.

ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Метою викладання навчальної дисципліни є оволодінні базовими та розширеними поняттями з таких фізичних теорій та математичних концептів, як квантова теорія поля, принципи симетрії, механізми її спонтаного порушення та їх застосування в фізиці високих енергій (Стандартної Моделі), фізики твердого тіла та в фізиці конденсованого стану. Методи теоретичного опису нерелятивістських і квантово-польових систем з порушеними симетріями є доволі універсальним апаратом сучасної теоретичної фізики. Тому новітня фізична освіта є неповною без оволодіння цим набором знань; без них неможливо сформувані науковий світогляд фахівця в фізиці в цілому, і теоретичної фізики зокрема.

1.1 Основними завданнями вивчення дисципліни «Методи теоретичного опису нерелятивістських і квантово-польових систем з порушеними симетріями» є:

(1) оволодіння апаратом квантової теорії поля; зокрема, функцій Гріна та діаграмою Фейнмана;

(2) оволодіння методами побудови лагранжіанів квантових полів, аналізу симетричних властивостей моделей;

(3) оволодіння теоретико-груповими методами у квантовій теорії поля та їх застосуванням в інших галузях фізики, в яких використовуються моделі багаточастинкових систем.

1.2.1 Формування наступних загальних компетентностей

Передбачається формування компетенції у сфері теоретичного опису нерелятивістських і квантово-польових систем з порушеними симетріями, а саме:

1. Здатність генерувати нові ідеї (креативність). (ЗК01)

2. Здатність розв'язувати комплексні накові проблеми на основі системного наукового світогляду та загального культурного кругозору. (ЗК03)

1.2.2. Формування наступних спеціальних (фахових) компетентностей

При оволодінні дисципліною «Методи теоретичного опису нерелятивістських і квантово-польових систем з порушеними симетріями» передбачено формування таких фахових компетентностей як:

1. Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми дослідницького характеру в сфері фізики та/або астрономії, інтегрувати знання з різних галузей, оцінювати та забезпечувати якість виконуваних досліджень. (СК01)

2. Здатність відстежувати тенденції розвитку фізики та/або астрономії, їх прикладних застосувань, критично переосмислювати наявні знання та методи фундаментальних та прикладних наукових досліджень. (СК02)

3. Здатність застосовувати сучасні методи, методики, технології, інструменти та обладнання для проведення прикладних та фундаментальних наукових досліджень у галузі фізики та/або астрономії. (СК06)

4 Компетенція у сфері теоретичного опису нерелятивістських і квантово-польових систем з порушеними симетріями. (СК26)

1.3. Кількість кредитів – 2.

1.4. Загальна кількість годин – 60.

1.5. Характеристика навчальної дисципліни:

Опис навчальної дисципліни «Методи теоретичного опису нерелятивістських і квантово-польових систем з порушеними симетріями»

Галузь знань, напрям підготовки, спеціальність, освітньо-кваліфікаційний рівень	
Галузь знань	10 – Природничі науки
напрямок підготовки	104 – фізика та астрономія
спеціальність	
освітньо-кваліфікаційний рівень	Доктор філософії
Мова навчання	Українська, англійська
Характеристика навчальної дисципліни	
Вид	Вибіркова за вільним вибором аспіранта
Загальна кількість годин	60
Кількість кредитів ECTS	2
Кількість змістових модулів	2
Форма контролю	залік
Показники навчальної дисципліни	
Рік підготовки	III
Лекційні заняття	16
Практичні заняття	8
Самостійна робота	34
Консультації	2

1.6. Передумови для вивчення дисципліни.

Передумовами вивчення курсу «Методи теоретичного опису нерелятивістських і квантово-польових систем з порушеними симетріями» є опанування компетентностями, передбаченими в обов'язкових дисциплінах за вибором ННЦ ХФТІ, таких як «Методи квантової теорії поля у фізиці частинок», «Космологія», «Фізика твердого тіла» та «Методи статистичної фізики в теорії нерівноважних процесів».

1.7. Очікувані результати навчання

Передбачається, що результатами навчання та опанування дисципліни мають бути наступні вміння та знання:

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми здобувачі повинні:

1. Знати та розуміти сучасну фізику на рівні, достатньому для розв'язання складних спеціалізованих задач і практичних проблем прикладної фізики.

2. Знати, розуміти та вміти застосовувати основні положення загальної та теоретичної фізики 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 теоретичної та прикладної фізики.

3. Знати та розуміти експериментальні основи фізики: аналізувати, описувати, тлумачити та пояснювати основні експериментальні підтвердження існуючих фізичних теорій.

4. Застосовувати сучасні математичні методи для побудови та аналізу математичних моделей фізичних процесів.

5. Відшукувати необхідну науково-технічну інформацію в науковій літературі, електронних базах, інших джерелах, оцінювати надійність і релевантність інформації.

6. Мати навички роботи із сучасною обчислювальною технікою, вміти використовувати стандартні пакети прикладних програм і програмувати на рівні, достатньому для реалізації чисельних методів розв'язування фізичних задач, комп'ютерного моделювання фізичних явищ і процесів, виконання обчислювальних експериментів.

7. 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 (астрономії) та дотичних міждисциплінарних напрямках. (PH04)

Після вивчення курсу здобувач повинен знати:

1. в чому полягає явище спонтанного порушення симетрії у фізиці багаточастинкових систем, конкретні приклади таких систем та їх основні властивості;
2. принципи побудови лагранжіанів квантових полів, аналізу симетричних властивостей моделей;
3. теоретико-групові методи у квантовій теорії поля та їх застосуванням в інших галузях фізики, в яких використовуються моделі багаточастинкових систем.

В результаті вивчення дисципліни аспірант повинен вміти:

1. Уміти в рамках квантово-польового підходу формулювати головне наближення для опису багаточастинкових систем і квантованих полів зі спонтанно порушеними симетріями, описувати їх термодинамічні властивості, будувати на основі отриманого головного наближення теорію збурень. (PH27)

2. Уміти розраховувати параметри нерелятивістських і квантово-польових систем з порушеними симетріями. (PH34)

2. ЗМІСТ ТА СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Зміст навчальної дисципліни

“Методи теоретичного опису нерелятивістських і квантово-польових систем з порушеними симетріями”

Модуль 1. Спонтанне порушення симетрії у класичних польових системах

ТЕМА1. Спонтанне порушення симетрії в одновимірній квантовій механіці. Спонтанне порушення симетрії у класичній теорії поля. Випадок дійсного скалярного поля. Спонтанне порушення симетрії у випадку комплексного скалярного поля.

ТЕМА 2. Теорема Голдстоуна-Намбу. Голдстоніони. Механізм Гітса для спонтанного порушення $U(1)$ симетрії. Механізм Гітса спонтанного порушення $SU(2)$ симетрії. Маси калібрувальних бозонів.

ТЕМА 3. Модель Вайнберга-Салама. Глобальні симетрії моделі. Слабкий гіперзаряд. Локалізація симетрій моделі Вайнберга-Салама. $SU(2)$ і $U(1)$ калібрувальні поля, коваріантізація похідних в право- та ліво-кіральному секторах. Спонтанне порушення $SU(2)$ симетрії у моделі Вайнберга-Салама. Діагоналізація масової матриці. Маси W і Z бозонів. Кут Вайнберга. Маси лептонів.

ТЕМА 4. Механізм Гітса у Стандартної Моделі. Загальна структура лагранжіана Стандартної Моделі. Матриця Кабіббо-Кобаясі-Масукави. Кількість вільних параметрів Стандартної Моделі з масивними нейтрино.

Загальні проблеми Стандартної Моделі. За межами Стандартної Моделі. Теорії Великого Об'єднання. Суперсиметрія, Струни, Брани, М-теорія.

Модуль 2. Спонтанне порушення симетрії у квантово-польових системах

ТЕМА 5. Спонтанне порушення симетрії в квантовій теорії поля. Порушення $O(N)$ симетрії у моделі ϕ^4 дійсного скалярного поля. Ефективний лагранжіан моделі після спонтанного порушення симетрії.

ТЕМА 6. Теорема Голстоуна на класичному рівні. Кількість голдстоніонів у загальному випадку порушення глобальної симетрії. Приклади порушення глобальної $SU(3)$ до різних підгруп. Ефективна дія. Визначення ефективної дії, її використання як генеруючого функціоналу для функцій Гріна. Загальні властивості Голдстоунівських бозонів. Механізм Гітса у скалярній КЕД. Узагальнення механізму Гітса на неабельові теорії.

ТЕМА 7. Квантування теорій зі спонтанним порушенням симетрії. Вибір калібрування. Спрощена модель з порушенням кіральної симетрії. Теорема еквівалентності для Голдстоунівських бозонів. Розпад топ-кварка у Стандартній Моделі.

Структура навчальної дисципліни

Назва лекції			
	Лекції	Практичні/семінарські заняття	Самостійна робота
Змістовний модуль 1. Спонтанне порушення симетрії у класичних польових системах			
Тема 1. Спонтанне порушення симетрії в 1D квантовій механіці та у класичній теорії поля	1	1	3
Тема 2. Теорема Голдстоуна-Намбу. Механізм Гітса	1	1	4
Тема 3. Модель Вайнберга-Салама	3	1	5
Тема 4. Механізм Гітса у Стандартній Моделі. Фізика за межами Стандартної Моделі	3	1	5
Разом за змістовний модуль 1	8	4	17
Змістовний модуль 2. Спонтанне порушення симетрії у квантово-польових системах			

Тема 5. Спонтанне порушення симетрії в квантовій теорії поля. Ефективний лагранжіан після СПС	2	1	5
Тема 6. Теорема Голстоуна на квантовому рівні	3	1	5
Тема 7. Квантування теорій зі спонтанним порушенням симетрії	3	2	7
Разом за змістовний модуль 2	8	4	17
Всього	16	8	34

Загальний обсяг: 60 год., зокрема: лекцій – 16 год.; практичних/семінарів – 8 год., самостійної роботи – 34 год., консультацій – 2 год.

4. Тематичний план практичних та семінарських занять

№ з/п	Тема	Години
1	Спонтанне порушення симетрії в 1D квантовій механіці та у класичній теорії поля	1
2	Теорема Голдстоуна-Намбу. Механізм Гітса	1
3	Модель Вайнберга-Салама	1
4	Механізм Гітса у Стандартної Моделі. Фізика за межами Стандартної Моделі	1
5	Спонтанне порушення симетрії в квантовій теорії поля. Ефективний лагранжіан	1
6	Теорема Голстоуна на квантовому рівні	1
7	Квантування теорій зі спонтанним порушенням симетрії	2
	Всього	8

5. Самостійна робота

№ з/п	Тема	Години
1	Самостійне опрацювання навчально-методичних посібників та вивчення матеріалу за темами 1 розділу.	17
2	Самостійне опрацювання навчально-	17

	методичних посібників та вивчення матеріалу за темами 2 розділу.	
	Всього	34

Запитання до заліку

1. Спонтанне порушення симетрії в одновимірній квантовій механіці.
2. Спонтанне порушення симетрії у класичній теорії поля. Випадок дійсного скалярного поля.
3. Спонтанне порушення симетрії у випадку комплексного скалярного поля.
4. Теорема Голдстоуна-Намбу. Голдстоніони. Механізм Гітса для спонтанного порушення $U(1)$ симетрії.
5. Механізм Гітса спонтанного порушення $SU(2)$ симетрії. Маса калібрувальних бозонів.
6. Модель Вайнберга-Салама. Глобальні симетрії моделі. Слабкий гіперзаряд.
7. Локалізація симетрій моделі Вайнберга-Салама. $SU(2)$ і $U(1)$ калібрувальні поля, коваріантізація похідних в право- та ліво-кіральному секторах.
8. Спонтанне порушення $SU(2)$ симетрії у моделі Вайнберга-Салама. Діагоналізація масової матриці. Маса W і Z бозонів. Кут Вайнберга. Маса лептонів.
9. Механізм Гітса у Стандартній Моделі. Загальна структура лагранжіана Стандартної Моделі. Матриця Кабіббо-Кобаясі-Масукави. Кількість вільних параметрів Стандартної Моделі з масивними нейтрино. Загальні проблеми Стандартної Моделі.
10. За межами Стандартної Моделі. Теорії Великого Об'єднання. Суперсиметрія, Струни, Брани, М-теорія.
11. Спонтанне порушення симетрії в квантовій теорії поля. Порушення $O(N)$ симетрії у моделі Φ^4 дійсного скалярного поля. Ефективний лагранжіан моделі після спонтанного порушення симетрії.
12. Теорема Голдстоуна на класичному рівні. Кількість голдстоніонів у загальному випадку порушення глобальної симетрії. Приклади порушення глобальної $SU(3)$ до різних підгруп.
13. Ефективна дія. Визначення ефективної дії, її використання як генеруючого функціоналу для функцій Гріна.

14. Загальні властивості Голдстоунівських бозонів. Механізм Гітса у скалярної КЕД. Узагальнення механізму Гітса на неабельові теорії.
15. Квантування теорій зі спонтанним порушенням симетрії. Вибір калібрування. Спрощена модель з порушенням кіральної симетрії.
16. Теорема еквівалентності для Голдстоунівських бозонів. Розпад топ-кварка у Стандартній Моделі.

6. Методи контролю

Поточний контроль складається з:

- 1) активної участі в аудиторних заняттях;
- 2) контрольні роботи;
- 3) експрес-контроль на практичних заняттях.

Підсумковий контроль проводиться в формі заліку (ваговий бал – 40)

7. Схема нарахування балів

Матеріал курсу "Методи теоретичного опису нерелятивістських і квантово-польових систем з порушеними симетріями" згідно навчальної програми містить 7 тем. Темі розподілені по модулях відповідно: I модуль – 4 теми (від 1 до 4), II модуль – 3 теми (від 5 до 7). Оцінка роботи здобувачів проводиться за модульно-рейтинговою системою і включає такі види роботи над курсом: практичні роботи, засвоєння теоретичного матеріалу та контрольні завдання.

Теми за курсом			Разом
Модуль 1	Модуль 2	Залік	100
T1-T4	T5-T7		
30	30	40	

T1, T2 ... - теми розділів.

Оцінка за модуль складається з оцінки за практикум, поточний контроль, виконання домашніх/контрольних письмових завдань. Здобувачі повинні виконати та оформити всі практичні роботи.

Здобувачі пишуть відповідно до кожного модуля письмові контрольні роботи, кожна з яких оцінюється максимум 10-ма балами. Решта 20 балів – це середня оцінка поточного контролю за відповідними темами, колоквиуми (усні), самостійні письмові роботи і т. ін.

Для допуску до підсумкового семестрового контролю здобувач в сумі за практикум, поточний контроль, виконання домашніх письмових завдань

має набрати не менше 30-ти балів з 60-ти можливих, тобто не менше 50% від максимально можливого.

На заліку здобувач може одержати від 20 до 40 балів. Між 0 та 20 балами оцінка не виставляється, залік вважається не зарахованим. Бали, одержані на заліку від 20 до 40 додаються до балів, одержаних у семестрі (30-60 балів). За цією сумою згідно таблиці шкали оцінювання виставляється підсумкова оцінка до залікової книжки.

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка
	за чотирирівневою шкалою оцінювання
90-100	зараховано
70-89	зараховано
50-69	зараховано
1-49	не зараховано

Критерії оцінювання питань на заліку (завдань контрольної роботи)

Поточна контрольна робота за кожний модуль містить кілька задач. Кожна задача має однаковий ваговий бал та оцінюється окремо. Максимальна оцінка контрольної роботи не перевищує 10 балів.

Підсумковий залік відбувається у формі усної окремої співбесіди, за списком наведених питань до заліку. Кожне питання оцінюється у 5 балів; з кожним з аспірантів обговорюється 8 довільно відібраних екзаменатором питань. Сумарно за всі відповіді на екзаменаційні питання можна отримати максимально 40 балів. Сумарний бал за контрольну роботу вказується в тексті відповідної роботи.

№	Характеристика відповіді на кожне з питань екзаменаційного білету (контрольної роботи)	% від max балу за відповідь на питання
1	Повна та вірна відповідь на питання або у повному обсязі правильно вирішена задача контрольної роботи	100 %
2	Повна відповідь з незначними помилками (або незначні помилки у розрахунках практичних завдань за наявності вірної розрахункової	80-95 %

	формули);	
3	Неповна, але вірна відповідь (або значні помилки у розрахунках практичних завдань за наявності вірної розрахункової формули для розв'язання практичних завдань);	50-80 %
4.	Відповідь повна, але містить грубі помилки (або вирішення практичних завдань контрольної роботи містить помилки)	30-50 %
5	Неповна відповідь з суттєвими помилками	5-30 %
6	Невірна відповідь	0-5 %
7	Відсутня відповідь на теоретичне питання (або відсутнє вирішення практичних завдань контрольної роботи)	0 %

9. Рекомендована література

Основна література

1. Зима В.Г., Нурмагамбетов О.Ю. Фізика частинок від атомів до кварків. Монографія (рос. мовою). Видавництво ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2014.
2. Isidori G. Quantum Field Theory II, Lecture Notes. https://www.physik.uzh.ch/dam/jcr:9705f0cb-2f1a-4115-a088-3199f0317ce6/QFT_2020_full.pdf

Допоміжна література

1. Kumericki K. Feynman Diagrams for Beginners. arXiv: 1602.04182 [physics.ed-ph].
2. Vojinovic M. Renormalization in QFT. <http://www.markovojinovic.com/professional/pdf/2014-Lisbon-TQFTclub-Renormalization-Lecture.pdf>
3. David Tong: Lectures on Quantum Field Theory. <https://www.damtp.cam.ac.uk/user/tong/qft.html>

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

Lectures on the net: ArXiv.org
<https://arxiv.org/search/?query=Lectures&searchtype=all&source=header>