

# КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

Фізичний факультет  
(назва факультету)

Кафедра теоретичної фізики



## РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ<sup>1</sup>

### РЕЛЯТИВІСТСЬКА КВАНТОВА ТЕОРІЯ ПОЛЯ

(повна назва навчальної дисципліни)

для студентів

галузь знань 10. Природничі науки  
(шифр і назва)  
спеціальність 104. Фізика та астрономія  
(шифр і назва спеціальності)  
освітній рівень бакалавр  
(молодший бакалавр, бакалавр, магістр)  
освітня програма фізика  
(назва освітньої програми)  
спеціалізований  
вибірковий блок теоретична фізика  
(за наявності) (назва)  
вид дисципліни вибіркова

Форма навчання	<u>очна</u>
Навчальний рік	<u>2022/2023</u>
Семестр	<u>7</u>
Кількість кредитів ECTS	<u>5</u>
Мова викладання, навчання та оцінювання	<u>українська</u>
Форма заключного контролю	<u>іспит</u>

Викладач: Анчишкін Д.В.

Пролонговано: на 20\_\_/20\_\_ н.р. \_\_\_\_\_ (\_\_\_\_\_) «\_\_» 20\_\_ р.  
(підпис, ПІБ, дата)

на 20\_\_/20\_\_ н.р. \_\_\_\_\_ (\_\_\_\_\_) «\_\_» 20\_\_ р.  
(підпис, ПІБ, дата)

КИЇВ – 2022

<sup>1</sup> Робоча програма навчальної дисципліни є нормативним документом вищого навчального закладу і містить виклад конкретного змісту навчальної дисципліни, послідовність, організаційні форми її вивчення та їх обсяг, визначає форми та засоби поточного і підсумкового контролю.

Розробники<sup>2</sup>: Анчишкін Д.В., старший науковий співробітник Інституту теоретичної фізики НАН України, професор, доктор фіз.-мат. наук.

(вказати авторів: ПІБ, науковий ступінь, вчене звання, посада, кафедра)

ЗАТВЕРДЖЕНО

Зав. кафедри теоретичної фізики

Анчишкін  
(підпис)

(Решетняк В.Ю.)  
(прізвище та ініціали)

Протокол № 19 від «27» гравня 2022 р.

Схвалено науково-методичною комісією факультету/інституту (педагогічною радою коледжу) \_\_\_\_\_

Протокол від «10» серпня 2022 року № 14

Голова науково-методичної комісії \_\_\_\_\_

Оліх  
(підпис)

(Оліх О.Я.)  
(прізвище та ініціали)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

<sup>2</sup> Розробляється лектором. Робоча програма навчальної дисципліни розглядається на засіданні кафедри (циклової комісії – для коледжів), науково-методичної комісії факультету/інституту (раді навчального закладу - коледжу), підписується завідувачем кафедри (головою циклової комісії), головою науково-методичної комісії факультету/інституту (головою ради) і затверджується заступником декана/директора інституту з навчальної роботи (заступником директора коледжу).

## ВСТУП

**1. Мета дисципліни** – курс «Релятивістська квантова теорія поля» покликаний ознайомити студентів з базовими поняттями цієї дисципліни такими, як класична теорія бозонних і ферміонних полів, способами квантування теорії, як канонічним так і за допомогою континуального інтегралу.

### **2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни:**

- Знати теоретичну механіку, квантову механіку, спеціальну теорію відносності і основи теорії симетрій.
- Вміти користуватися методами математичного аналізу, аналітичної геометрії і математичної фізики.

**3. Анотація навчальної дисципліни** / референс: Навчальна дисципліна «Релятивістська квантова теорія поля» є складовою циклу дисциплін самостійного вибору навчального закладу для професійної підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр фізики». Вона є базовою для оволодіння потужним математичним апаратом квантової теорії поля і вивчення таких спеціальних дисциплін як «Квантова електродинаміка», «Фізика надпровідності», «Непертурбативні методи квантової теорії поля», «Теорія солітонів».

Методи викладання: лекції, консультації, практичні заняття. Методи оцінювання: опитування в процесі лекцій та практичних занять, модульні контрольні роботи після основних розділів курсу та іспит (7 семестр). Підсумкова оцінка виставляється на основі проміжних оцінок (60%) та іспиту (40%).

**4. Завдання (навчальні цілі)** – є оволодіння методами релятивістської квантової теорії поля, розвиток творчого підходу до розв'язання складних фізичних задач за допомогою методів квантової теорії поля, оволодіння потужним математичним апаратом цієї теорії. Також здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел, в тому числі, електронних ресурсів, та здатність студентів до абстрактного мислення, аналізу та синтезу матеріалу з всіх фізичних дисциплін.

Згідно вимог проекту Стандарту вищої освіти України (перший (бакалаврський) рівень вищої освіти (сьомий рівень НРК України), галузь знань 10 «Природничі науки», спеціальність 104 «Фізика та астрономія», ОПП «Фізика», дисципліна забезпечує набуття здобувачами освіти наступних *компетентностей*:

інтегральної:

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

загальних:

- Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу (ЗК1).

фахових:

- Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної фізики та астрономії (ФК1).
- Здатність оцінювати порядок величин у різних дослідженнях, так само як точності та значимості результатів (ФК3).
- Здатність моделювати фізичні системи та астрономічні явища і процеси (ФК6).
- Здатність використовувати базові знання з фізики та астрономії для розуміння будови та поведінки природних і штучних об'єктів, законів існування та еволюції Всесвіту (ФК7).
- Здатність виконувати теоретичні та експериментальні дослідження автономно та у складі наукової групи (ФК8).

- Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації (ФК9).
- Здатність самостійно навчатися і опановувати нові знання з фізики, астрономії та суміжних галузей (ФК10).
- Здатність аналізувати світові тренди розвитку фізики та астрономії для вибору власної освітньої траєкторії навчання та тематики майбутніх наукових досліджень (ФК15).

## 5. Результати навчання за дисципліною:

<i>Результат навчання</i> (1. знати; 2. вміти; 3. комунікація; 4. автономність та відповідальність)		<i>Методи викладання і навчання</i>	<i>Методи оцінювання</i>	<i>Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни</i>
Код	Результат навчання			
1	1.1 Принцип найменшої дії для релятивістських полів.	Лекція, практичне заняття	Задачі, усні відповіді	5
	1.2 Групи внутрішньої симетрії. Збереження струмів та зарядів.	Лекція, практичне заняття	Задачі, усні відповіді	5
	1.3 Представлення динамічних інваріантів спірного поля через амплітуди розв'язків рівняння Дірака.	Лекція, практичне заняття	Задачі, усні відповіді, модульна контрольна робота	10
	1.4 Постулати квантування та інваріантність відносно групи Пуанкаре.	Лекція, практичне заняття	Задачі, усні відповіді	5
	1.5 Функції скалярного поля (перестановна та каузальна).	Лекція, практичне заняття	Задачі, усні відповіді	5
	1.6 Види взаємодій квантованих полів. Перенормовні і неперенормовні взаємодії.	Лекція, практичне заняття	Задачі, усні відповіді	5
	1.7 Грасманові змінні. Диференціювання та інтегрування по грасмановим змінним.	Лекція, практичне заняття	Задачі, усні відповіді	5
2	2.1 Виводити формули для слідів добутоків матриць Дірака.	Лекція, практичне заняття	Задачі, усні відповіді, модульна контрольна робота	10
	2.2 Провести порівняльний аналіз кутового моменту для скалярного і для спірного полів.	Лекція, практичне заняття	Задачі, усні відповіді	5
	2.3 Розкласти S-матрицю по степенях взаємодії.	Лекція, практичне заняття	Задачі, усні відповіді	5
	2.4 Проаналізувати відмінності теореми Віка для бозонних і ферміонних полів.	Лекція, практичне заняття	Задачі, усні відповіді	5
	2.5 Знайти 4-точкову функцію з врахуванням 2 порядків по взаємодії $\phi^4$ скалярного поля.	Лекція, практичне заняття	Задачі, усні відповіді	5

2.6 Знайти елементи матриці розсіяння в представленнях Гайзенберга і Шредінгера.	Лекція, практичне заняття	Задачі, усні відповіді	5
2.7 Знайти представлення матричного елемента хронологічно впорядкованого добутку операторів через континуальний інтеграл. Переходити до уявного часу і континуального інтегралу Вінера в евклідовій теорії.	Лекція, практичне заняття	Задачі, усні відповіді, модульна контрольна робота	10
2.8 Знайти амплітуду вакуум-вакуумного переходу у випадку квадратичної по бозонних полях взаємодії.	Лекція, практичне заняття	Задачі, усні відповіді	5
2.9 Знайти амплітуду вакуум-вакуумного переходу у випадку квадратичної по ферміонних полях взаємодії.	Лекція, практичне заняття	Задачі, усні відповіді	5
2.10 Вивести ефективні рівняння Максвелла та Гільберта–Айнштейна у квазікласичному наближенні.	Лекція, практичне заняття	Задачі, усні відповіді	5

**6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання (необов'язково для вибіркових дисциплін)**

<b>Програмні результати навчання</b>	<b>Результати навчання дисципліни</b>	
	<b>1</b>	<b>2</b>
1.ПРН1. Знати, розуміти та вміти застосовувати 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 астрономії.	+	+
2.ПРН2. 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.	+	+
3.ПРН4. Вміти застосовувати базові математичні знання, які використовуються у фізиці та астрономії: з аналітичної геометрії, лінійної алгебри, математичного аналізу, диференціальних та інтегральних рівнянь, теорії ймовірностей та математичної статистики, теорії груп, методів математичної фізики, теорії функцій комплексної змінної, математичного моделювання.	+	+
4.ПРН5. Знати основні актуальні проблеми сучасної фізики та астрономії.	+	+
5.ПРН6. Оцінювати вплив новітніх відкриттів на розвиток сучасної фізики та астрономії.	+	+
6.ПРН8. 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.		
7.ПРН13. Розуміти зв'язок фізики та 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.	+	+
8.ПРН17. 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.	+	+
9.ПРН24. Розуміти місце фізики та астрономії у загальній системі знань про природу і суспільство та у розвитку суспільства, техніки і технологій.	+	+
10.ПРН25. Мати навички самостійного прийняття рішень стосовно своїх освітніх траєкторій та професійного розвитку.	+	+
11.ПРН28. Мати уявлення про трансдисциплінарний шлях розвитку науки та його значення для вибору майбутньої освітньої траєкторії.	+	+

## 7. Структура курсу:

Курс складається з двох змістових модулів у сьомому семестрі (22 лекції та 7 практичних занять).

## 8. Схема формування оцінки.

### 8.1 Форми оцінювання студентів:

- семестрове оцінювання (7 семестр)

1. Модульна контрольна робота РН 2.1-2.4 (25 балів).
  2. Модульна контрольна робота РН 2.5-2.9 (25 балів).
  3. Домашні роботи, усні відповіді (10 балів).
- підсумкове оцінювання у формі іспиту.

	ЗМ1	ЗМ2	іспит	Підсумкова оцінка
<b>Мінімум</b>	<b><u>18</u></b>	<b><u>18</u></b>	<b><u>24</u></b>	<b><u>60</u></b>
<b>Максимум</b>	<b><u>30</u></b>	<b><u>30</u></b>	<b><u>40</u></b>	<b><u>100</u></b>

Студент не допускається до іспиту, якщо під час семестру отримав менше **36 балів**.

Оцінка за іспит не може бути меншою **24 балів** для отримання загальної позитивної оцінки за курс.

**8.2 Організація оцінювання:** *(обов'язково зазначається порядок організації передбачених робочою навчальною програмою форм оцінювання із зазначенням орієнтовного графіку оцінювання).*

Контроль здійснюється за модульно-рейтинговою системою, яка складається із 2 змістових модулів (2 модулі в сьомому семестрі). Система оцінювання знань включає поточний та модульний контроль знань. Результати навчальної діяльності студентів оцінюються за 100-бальною шкалою. Форми поточного контролю: домашні роботи, усні відповіді, оцінювання модульних контрольних робіт. Студент може отримати максимально 50 балів за модульні контрольні роботи, 10 балів за домашні роботи та усні відповіді, а також

40 балів на іспиті. Підсумковий контроль проводиться у формі іспиту (40 балів). Білет включає теоретичні питання (20 балів) та задачі (20 балів).

#### Шкала відповідності оцінок

<b>Відмінно / Excellent</b>	90-100
<b>Добре / Good</b>	75-89
<b>Задовільно / Satisfactory</b>	60-74
<b>Незадовільно / Fail</b>	0-59

### СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Тематичний план лекцій, практичних занять та самостійних робіт

#### VII СЕМЕСТР

№ теми	Назва лекції	Кількість годин		
		лекції	Практичні заняття	Самост. робота
1	Лагранжев формалізм для релятивістських полів. Класичні релятивістські поля. Дія та її варіація. Рівняння Лагранжа–Ойлера.	2	0.5	4
2	Симетрії та закони збереження. Теорема Нетер і динамічні інваріанти. Групи Лоренца і Пуанкаре. Збереження тензорів енергії – імпульсу та моментів кількості руху.	2	0.5	4
3	Класичне скалярне поле. Лагранжев формалізм та динамічні інваріанти для скалярного поля. Рівняння Кляйна–Гордона–Фока та його розв’язки.	2	0.5	5
4	Спінорене поле та рівняння Дірака. Алгебра Кліфорда та незвідне представлення матриць Дірака. Трансформаційні властивості спірного поля відносно групи Лоренца. Безмасове спінорене поле та рівняння Вейля.	2	0.5	6
5	Розв’язки рівняння Дірака. Розклад по спіновим станам і співвідношення нормування та ортогональності спінів. Лагранжев формалізм та динамічні інваріанти для спірного поля.	2	0.5	5
6	Загальні принципи канонічного квантування релятивістських полів. Гамільтонів формалізм у теорії поля. Дужка Пуассона та узагальнені канонічні змінні. Канонічне квантування і узагальнення співвідношення невизначеності Гайзенберга.	4	0.5	6
7	Квантування скалярного поля. Перестановні співвідношення Бозе–Айнштейна. Оператори динамічних інваріантів. Впорядкування добутку операторів скалярних полів.	2	0.5	5

8	Квантування спірного поля. Перестановні співвідношення Фермі–Дірака. Зв’язок спіну зі статистикою. Оператори динамічних інваріантів. Впорядкування добутку операторів спірних полів.	2	0.5	5
9	Лагранжіан взаємодії та S-матриця. Представлення Шредінгера, Гайзенберга, Дірака. Хронологічно впорядкований добуток локальних операторів. Представлення матриці розсіяння через хронологічно впорядковану експоненту.	2	0.5	5
10	Теорема Віка для хронологічно впорядкованих добутків операторів. Нормальне впорядкування добутку операторів. Розкриття хронологічно впорядкованих добутків операторів.	2	0.5	5
	<b>Модульна контрольна робота 1</b>		2	
11	S-матричні елементи. Оператори народження та знищення частинок і стан вакууму. Вакуумні очікування хронологічно впорядкованих добутків операторів – n-точкові функції.	2	0.5	5
12	Генеруючий функціонал для n-точкових функцій. Амплітуда вакуум-вакуумного переходу під впливом зовнішніх джерел. Варіаційні похідні по джерелах та n-точкові функції. Усунення нефізичних вакуумних процесів.	2	0.5	5
13	Діаграми Фейнмана для n-точкових функцій у випадку скалярного поля із взаємодією $\phi^4$ . Застосування теореми Віка і правила відповідності. Пропагатори і вершини.	4	0.5	5
14	S-матриця і представлення Гайзенберга. Асимптотичні стани. Вакуумні очікування хронологічно впорядкованих добутків операторів у представленні Гайзенберга.	2	0.5	5
15	Континуальний інтеграл у квантовій механіці. Пропагатор і матричні елементи оператора еволюції. Континуальний інтеграл у фазовому просторі. Континуальний інтеграл по класичних траєкторіях. Роль класичної дії у квантовій механіці.	2	0.5	5
16	Квантування скалярного поля методом функціонального інтегралу. Представлення амплітуди вакуум-вакуумного переходу через функціональний інтеграл по скалярним полям. Генеруючий функціонал у випадку невзаємодіючих полів. Генеруючий функціонал у випадку взаємодіючих полів.	4	1	5
17	Квантування спірного поля методом функціонального інтегралу. Функціональний інтеграл по спірних полях. Амплітуда вакуум-вакуумного переходу під впливом зовнішніх джерел у вигляді грасманових функцій.	4	1	5



	Генеруючий функціонал у випадку спірних полів.			
18	Поняття ефективної дії. Класичні і квантовані поля. Квазікласичне наближення на мові функціонального інтегралу. Приклади з теорії електромагнетизму та гравітації.	2	0.5	6
	<b>Модульна контрольна робота 2</b>		2	
<b>Всього</b>		44	14	91

**Загальний обсяг 150 год**, в тому числі (вибрати необхідне):

Лекцій – **44 год**.

Семінари – **год**.

Практичні заняття - **14 год**.

Лабораторні заняття - \_\_\_\_\_ год.

Тренінги - \_\_\_\_\_ год.

Консультації - **1 год**.

Самостійна робота – **91 год**.

### **РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА:**

#### **Основна**

1. Ахиезер А.И., Пелетминский С.В. Теория фундаментальных взаимодействий. – К.: Наукова думка, 1993.
2. Ициксон К., Зюбер Ж.-Б. Квантовая теория поля. – М.: Мир, 1984.
3. Райдер Л. Квантовая теория поля. – М.: Мир, 1987.
4. Боголюбов Н.Н., Ширков Д.В. Введение в теорию квантованных полей. – М.: Наука, 1984.

#### **Додаткова**

5. Бьеркен Дж.Д., Дрелл С.Д. Релятивистская квантовая теория. Т. 2. Релятивистские квантовые поля. М.: Наука, 1978.
6. Попов В.Н. Континуальные интегралы в квантовой теории поля и статистической физике. – М.: Атомиздат, 1976.
7. Ребенко О.Л., Основи сучасної теорії взаємодіючих квантованих полів, Київ, Наукова Думка, 2007.