

Львівський національний університет імені Івана Франка

Кафедра теоретичної фізики

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Декан
фізичного факультету

_____ Якібчук П. М.

“ _____ ” _____ 20__ р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

КВАНТОВА ТЕОРІЯ ПОЛЯ

галузь знань — **10** Природничі науки
спеціальність — **104** Фізика та астрономія
фізичний факультет

2020–2021 навчальний рік

Робоча програма навчальної дисципліни «**Квантова теорія поля**» для студентів за галуззю знань **10** Природничі науки спеціальності **104 Фізика та астрономія** фізичного факультету, 2020 року. — 8 с.

Розробник:

Пастухов Володимир Степанович, канд. фіз.-мат. наук, доцент, доцент кафедри теоретичної фізики

Робоча програма затверджена на засіданні кафедри теоретичної фізики

Протокол № _____ від “___” _____ 20__ р.

Завідувач кафедри теоретичної фізики

_____ (Ткачук В. М.)

“___” _____ 20__ р

Схвалено Вченою радою фізичного факультету

Протокол № _____ від “___” _____ 20__ р.

“___” _____ 20__ р. Голова _____ (Якібчук П. М.)

© Львівський національний
університет імені Івана Франка,
2020

© Пастухов В. С., 2020

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, напрям підготовки, освітньо-кваліфікаційний рівень	Характеристика навчальної дисципліни
		<i>денна форма навчання</i>
Кількість кредитів — 5.0		Нормативна
Модулів — 1	Галузь знань 10 Природничі науки	<i>Рік підготовки:</i> 5-й
Змістових модулів — 2	Спеціальність 104 Фізика та астрономія	<i>Семестр</i> 10-й
Загальна кількість годин — 150		<i>Лекції</i> 16 год.
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних — 4 самостійної роботи студента — 6.375	Освітньо-кваліфікаційний рівень: магістр	<i>Практичні, семінарські</i> —
		<i>Лабораторні</i> 32 год
		<i>Самостійна робота</i> 102 год.
		<i>Вид контролю: іспит</i>

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета: формування в майбутнього фізика цілісної картини фізичних явищ, пов'язаних зі взаємодіями елементарних частинок.

Завдання: навчити студентів використовувати фізичних концепції та формальний апарат квантової теорії поля для опису взаємодії елементарних частинок.

В результаті вивчення даного курсу студент повинен

знати основні фізичні концепції та математичний апарат квантової теорії поля.

вміти: застосовувати математичний апарат квантової теорії поля для опису різних взаємодій мікрочастинок, квантування методом функціонального інтегрування вільних полів та полів зі взаємодією, проводити найпростіші розрахунки у випадку взаємодіючих полів.

Для слухачів курсу необхідними є знання математичного аналізу, диференціальних рівнянь та курсів теоретичної фізики.

3. Програма навчальної дисципліни

МОДУЛЬ 1

Змістовий модуль 1. Симетрії і калібрувальні поля

Тема 1. Лагранжевий формалізм.

1. Варіаційний принцип. Дійсне скалярне поле. Рівняння Клейна-Гордона. Теорема Ньотер. Закони збереження енергії, імпульсу, моменту імпульсу як наслідки інваріантності просторово-часових трансляцій і обертань.

Тема 2. Калібрувальні перетворення.

1. Комплексне скалярне поле. Глобальні калібрувальні перетворення. Закон збереження заряду. Локальні $U(1)$ -калібрувальні перетворення.
2. Неабелеві калібрувальні поля. Симетрія $SU(2)$. Поле Янга-Міллса.

Змістовий модуль 2. Квантування методом функціональних інтегралів

Тема 3. Твірні функціонали.

1. Фейнманове формулювання квантової механіки на основі функціональних інтегралів. Теорія збурень. S -матриця. Амплітуда переходу вакуум-вакуум у присутності джерела. Вакуумні середні хронологічних добутків операторів як функціональні похідні. Твірний функціонал для скалярних полів. Твірний функціонал для функцій Гріна вільних частинок. n -часткові функції Гріна. Теорема Віка.

Тема 4. Взаємодіючі поля.

1. Твірний функціонал для взаємодіючих полів. Теорія ϕ^4 . Діаграми Фейнмана. Твірний функціонал для спінового поля. Алгебра Грассмана. S -матриця. Редукційна формула. Амплітуда πN -розсіяння. Правила Фейнмана для скалярних і спінових полів.

Тема 5. Спонтанне порушення симетрії.

1. Спонтанне порушення $U(1)$ симетрії. Голдстоунів бозон. Спонтанне порушення $O(3)$ -симетрії. Спонтанне порушення калібрувальних симетрій. Явища Хіггса.
2. Єдина модель слабкої і електромагнітної взаємодії Вайнберга–Салама.
3. Перенормування. Розбіжності в теорії φ^4 . Розмірна регуляризація теорії. Ренормалізаційна група. Асимптотична свобода.

4. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин					
	Денна форма					
	Усього	у тому числі				
л		п	лаб	інд	ср	
1	2	3	4	5	6	7
МОДУЛЬ 1						
<i>Змістовий модуль 1. Симетрії і калібрувальні поля</i>						
Тема 1. Лагранжевий формалізм.	25	2		6		17
Тема 2. Калібрувальні перетворення.	44	4		6		34
<i>Разом – зм. модуль 1</i>	<i>69</i>	<i>6</i>		<i>12</i>		<i>51</i>
<i>Змістовий модуль 2. Квантування методом функціональних інтегралів</i>						
Тема 4. Твірні функціонали.	25	4		4		17
Тема 5. Взаємодіючі поля.	28	3		8		17
Тема 6. Спонтанне порушення симетрії.	28	3		8		17
<i>Разом – зм. модуль 2</i>	<i>81</i>	<i>10</i>		<i>20</i>		<i>51</i>
Усього годин	150	16		16		102

5. Темі семінарських занять

Семінарські заняття в курсі не передбачені.

6. Темі практичних занять

Практичні заняття в курсі не передбачені.

7. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Формулювання квантової механіки в методі інтегралів за траєкторіями	2
2	Ангармонічний осцилятор в методі інтегралів за траєкторіями	2
3	Властивості груп $SU(n)$	2
4	Одночастинкові релятивістські рівняння. I	2
5	Одночастинкові релятивістські рівняння. II	2
6	Алгебра γ -матриць	2
7	Роль групи Пуанкаре	2
8	<i>Підсумкова контрольна робота зі змістовим модулем I</i>	2
9	Рівняння поля Янга-Міллса	2
10	Канонічне квантування дійсного скалярного поля	2
11	Канонічне квантування комплексного поля	2
12	Канонічне квантування поля Дірака	2
13	Канонічне квантування електромагнітного поля	2
14	Обчислення 2-, 4-точкової функцій Гріна у першому порядку теорії збурень	2
15	Регуляризація теорії ϕ^4	2
16	<i>Підсумкова контрольна робота зі змістовим модулем I</i>	2
	Разом	32

8. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Група $SU(2)$. Скінченні групи симетрії: P і C . Група $SU(3)$: ізоспін і дивність. Кварк-антикваркові стани: мезони. Трикваркові стани: баріони. Важкі кварки.	12
2	Дослідження розподілу заряду електронами, формфактори. Електрон-протонне розсіяння, формфактори протона. Кварки всередині протона. Глюони.	12
3	Порушення парності і $V-A$ форма слабкої взаємодії. Бета-розпад ядер. Розпад мюона. Розпад піона. Нейтральні струми і розсіяння нейтрино на кварках. Кут Кабіббо. Кути змішування у слабких взаємодіях. Порушення CP -інваріантності.	12
4	Слабкий ізоспін і слабкий гіперзаряд. Основні електрослабкі взаємодії. Ефективна струм-струм взаємодія. Розсіяння нейтрино на електроні.	11
5	Вимірювання $\sin^2 \theta$. Розпад мюона. Вимірювання константи зв'язку. Параметри стаціонарної моделі.	11
6	Продукти взаємодій, що відбуваються у колайдері. Прискорювачі, їх майбутнє. Експерименти при низьких енергіях. Сучасні дослідження і майбутній розвиток.	11
7	Конфайнмент кольору і кольорові синглетні адрони. Кваркові числа мезонів і баріонів. Кварки.	11
8	Об'єднання кварків і лептонів. Розпад протона. Асиметрія баріонів. Суперсиметрія. Народження і детектування суперсиметричних партнерів. Легкі суперсиметричні частинки і темна матерія.	11

9	Наслідки ненульових мас нейтрино. Нейтринні осциляції. Сонячні нейтрино. Вимірювання мас нейтрино при розпадах.	11
	Разом	102

9. Індивідуальні завдання

Індивідуальні завдання в курсі не передбачені.

10. Методи навчання

1. Подача лекційного матеріалу в дохідливій і наочній формі.
2. Робота на спецлабораторних заняттях.

11. Методи контролю

Контроль засвоєння матеріалу включає поточний контроль (підсумкове тестування за двома змістовими модулями, 2×15 балів), оцінку виступів на спецлабораторних заняттях (20 балів), разом за семестр 50 балів, іспит (50 балів). Сумарна оцінка, таким чином, виставляється за 100-бальною шкалою.

12. Розподіл балів, що присвоюється студентам

Розподіл балів, які отримують студенти (для екзамену)

Поточне тестування та самостійна робота		Робота на практичних	Підсумковий тест (екзамен)	Сума
Змістовий модуль 1	Змістовий модуль 2			
T1-2	T4-6			
15	15	20	50	100

Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою (для екзамену)
90–100	A	відмінно
81–89	B	добре
71–80	C	
61–70	D	задовільно
51–60	E	
25–50	FX	незадовільно з можливістю повторного складання
0–24	F	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

13. Методичне забезпечення

До системи методичного забезпечення дисципліни належить програма курсу, робоча навчальна програма, перелік тестових питань за двома змістовими модулями та теми для доповідей на спецлабораторних заняттях.

14. Рекомендована література

Базова

1. *Л. Райдер*. Квантовая теория поля. М.: Мир, 1987.
2. *С. Вайнберг*. Квантовая теория поля. Т. 1, 2. М.: Физматлит, 2003.
3. *К. Ициксон, Ж. Б. Зюбер*. Квантовая теория поля. М.: Мир, 1984.– Т.1.
4. *Дж. Д. Бьеркен, С. Д. Дрелл*. Релятивистская квантовая теория. М.: Мир, 1987.
5. *Н. Н. Боголюбов, Д. В. Ширков*. Введение в теорию квантовых полей. М.: Мир, 1981.
6. *П. Ченг, Л. Ф. Ли*. Калибровочные теории в физике элементарных частиц. М.: Мир, 1989.
7. *Г. Кейн*. Современная физика элементарных частиц. М.: Мир, 1989.
8. *Ф. Хелзен, А. Мартин*. Кварки и лептоны. М.: Мир, 1987.

Допоміжна

1. *А. Садбери*. Квантовая механика и физика элементарных частиц. М.: Мир, 1989.
2. *П. Рамон*. Теория поля. М.: Мир, 1984.
3. *Мічіо Кайку*. Візії і як людина змінить ХХІ сторіччя. Львів: Літопис, 2004.
4. *Мічіо Кайку*. Гіперпростір. Львів: Літопис, 2005.
5. *Мічіо Кайку*. Фізика майбутнього. Львів: Літопис, 2013.

15. Інформаційні ресурси

Wikipedia. <http://www.wikipedia.org>