


КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

фізичний факультет
(назва факультету, інституту)

Кафедра квантової теорії поля

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Заступник декана з навчальної роботи

 О.В. Момот
«21» серпня 2021 року



РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ОСНОВИ КВАНТОВОЇ ХРОМОДИНАМІКИ

(повна назва навчальної дисципліни)

для студентів

галузь знань	<u>10 Природничі науки</u> (шифр і назва)
спеціальність	<u>104 Фізика та астрономія</u> (шифр і назва спеціальності)
освітній рівень	<u>магістр</u> (молодший бакалавр, бакалавр, магістр)
освітня програма	<u>фізика високих енергій</u> (назва освітньої програми)
вид дисципліни	<u>обов'язкова</u>

Форма навчання	<u>денна</u>
Навчальний рік	<u>2021/2022</u>
Семестр	<u>2</u>
Кількість кредитів ECTS	<u>3</u>
Мова викладання, навчання та оцінювання	<u>українська</u>
Форма заключного контролю	<u>іспит</u>

Викладачі: Горкавенко Володимир Миколайович

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

на 20__/20__ н.р. _____ (_____) «__» 20__ р.
(підпис, ПІБ, дата)

КИЇВ – 2021

Розробник:

Горкавенко Володимир Миколайович, к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедри квантової теорії поля.

ЗАТВЕРДЖЕНО

Зав. кафедри _____ квантової теорії поля _____

(підпис) (Вільчинський С.Й.)
(прізвище та ініціали)

Протокол № 10 від «21» травня 2020 р.

ЗАТВЕРДЖЕНО

Зав. кафедри _____ ядерної фізики _____

(підпис) (Каденко І.М.)
(прізвище та ініціали)

Протокол № 11 від «10» червня 2021 р.

Схвалено науково - методичною комісією факультету/інституту
_____ фізичного факультету _____

Протокол від « 22 » червня 2021 року № 4

Голова науково-методичної комісії _____ (Оліх О.Я.)
(підпис) (прізвище та ініціали)

ВСТУП

1. Мета дисципліни – ознайомлення з сучасним станом фізики мезонів та баріонів, основами сильної взаємодії частинок, оволодіння методами розрахунку основних процесів за участі адронів, що відбуваються за рахунок слабкої взаємодії.

2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни:

1. Знати основні принципи КТП, знати основні положення загальної теорії відносності, знати квантову електродинаміку та базові знання зі Стандартної моделі; вміти проводити розрахунки основних процесів КЕД та СМ.

2. Володіти елементарними навичками пошуку та опрацювання спеціалізованої літератури, розв'язку алгебраїчних і диференціальних рівнянь, побудови та аналізу графічних залежностей.

3. Анотація навчальної дисципліни: В рамках курсу «Основи квантової хромодинаміки» викладаються основи квантової квантової хромодинаміки, методи розрахунку лептон-адронного та адрон-адронного розсіяння; методи розрахунку лептонних, напівлептонних та нелептонних розпадів адронів. Мета вивчення дисципліни – ознайомлення студентів з сучасним станом фізики мезонів та баріонів. Результатом навчання є оволодіння методами розрахунку основних процесів за участі адронів. Методи викладання: лекції, практичні, консультації. Методи оцінювання: контрольні роботи, підготовка рефератів.

4. Завдання (навчальні цілі) – навчити студентів розраховувати основні процеси за участі мезонів та баріонів.

Згідно освітньо-наукової програми дисципліна забезпечує набуття здобувачами освіти наступних компетентностей:

Інтегральну

Здатність розв'язувати складні задачі і проблеми дослідницького та/або інноваційного характеру у фізиці та астрономії.

загальних

ЗК03.Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

ЗК05.Здатність використовувати інформаційні та комунікаційні технології.

фахових:

СК09. Здатність ефективно використовувати на практиці сучасні теорії та методи управління наукою та ділового адміністрування.

СК10. Здатність використовувати знання й уміння в галузі практичного використання комп'ютерних технологій для дослідження процесів в ФВЕ.

СК11. Здатність застосовувати сучасні експериментальні методи дослідження елементарних частинок та каналів їх розпаду.

5. Результати навчання за дисципліною:

Результат навчання (1. знати; 2. вміти; 3. комунікація; 4. автономність та відповідальність)		Форми (та/або методи і технології) викладання і навчання	Методи оцінювання та пороговий критерій оцінювання (за необхідності)	Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни
Код	Результат навчання			
1. Знати				
1.1	поняття формфакторів мезонів, електричних та магнітних формфакторів баріонів	• лекції • самостійна робота	• модульні контрольні роботи • домашні завдання • екзаменаційна робота	10
1.2	методи розрахунку лептон-адронного та адрон-адронного розсіяння			10

1.3	методи розрахунку лептонних, напівлептонних та нелептонних розпадів мезонів			10
1.4	поняття партонної функції розподілу в реакціях з адронами			10
Загалом:				40
2. Вміти				
2.1	застосовувати теоретичний матеріал для практичних розрахунків лептон-адронних та адрон-адронних перерізів розсіяння	• лекції • самостійна робота	• модульні контрольні роботи • домашні завдання • екзаменаційна робота	14
2.2	застосовувати теоретичний матеріал для практичних розрахунків ширин розпаду мезонів			14
2.3	самостійно працювати з фізичною літературою			12
Загалом:				40
3. Комунікація				
3.1	здатність бути активним учасником обговорень	• лекції • самостійна робота	• модульні контрольні роботи • домашні завдання • екзаменаційна робота	3
3.2	презентувати результати самостійної роботи у форматі усних та/або письмових повідомлень із/без використання наочних засобів			4
3.3	майстерність методологічного сумніву висловленої позиції колег та/або авторитетного джерела			3
Загалом:				10
4. Автономність та відповідальність				
4.1	віднаходити необхідну інформацію з різних джерел	• лекції • самостійна робота	• модульні контрольні роботи • домашні завдання • екзаменаційна робота	4
4.2	застосовувати отримані знання в професійній діяльності			3
4.3	демонструвати вміння працювати в колективі та самостійно			3
Загалом:				10

6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання

Програмні результати навчання	Результати навчання дисципліни											
	1				2				3			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4

РН06. Обирати ефективні математичні методи та інформаційні технології та застосовувати їх для здійснення досліджень та/або інновацій в області фізики та астрономії.					+	+	+			+	+		
РН07. Оцінювати новизну та достовірність наукових результатів з обраного напрямку фізики та астрономії, оприлюднених у формі публікацій чи усної доповіді.	+	+	+	+			+			+	+	+	
РН08. Презентувати результати досліджень у формі доповідей на семінарах, конференціях тощо, здійснювати професійний письмовий опис наукового дослідження, враховуючи вимоги, мету та цільову аудиторію.									+	+	+	+	+
РН15. Планувати наукові дослідження з урахуванням цілей та обмежень, обирати ефективні методи дослідження, робити обґрунтовані висновки за результатами дослідження.	+	+	+	+								+	
РН17. Володіти основними теоретичними методами досліджень атомних ядер, основними моделями атомного ядра, методами досліджень ядерних реакцій, стандартними моделями елементарних частинок та космології	+	+	+	+	+	+	+						
РН21. Вміти розраховувати поперечні перерізи різних типів процесів з використанням методу моделювання взаємодії і детектора методами Монте-Карло.					+	+	+						

7. Схема формування оцінки.

7.1 Форми оцінювання студентів:

- семестрове оцінювання:

Форми викладання і навчання	Форми контролю	Результати навчання	Кількість балів	
			min	max
Лекційні заняття	Модульна контрольна робота 1	1.1-1.4 2.1-2.3	10	20
	Модульна контрольна робота 2	3.1-3.3 4.1-4.3		
Самостійна робота	Виконання домашніх завдань	1.1-1.4 2.1-2.3 3.1-3.3 4.1-4.3	10	20
Загалом за роботу у семестрі			30	60

- підсумкове оцінювання у формі іспиту.

Іспит проводиться в письмовій формі. Кожен білет містить два теоретичні питання та одну задачу. Максимальна кількість балів, які можуть бути отримані студентом за складання іспиту дорівнює **40**. Студент не допускається до іспиту, якщо під час семестру набрав менше, ніж **30** балів.

7.2 Організація оцінювання:

Контроль здійснюється за модульно-рейтинговою системою, яка складається із 2 змістових модулів. Система оцінювання знань включає поточний, модульний та семестровий контроль знань. Результати навчальної діяльності студентів оцінюються за 100-бальною шкалою. Форми поточного контролю: оцінювання домашніх робіт, виконаних студентами. Модульний контроль: 2 модульні контрольні роботи. Студент може отримати максимально за модульну контрольну роботу **20** балів (за дві модульні контрольні роботи – максимальна кількість балів **40**) та **20** балів

за виконання домашніх завдань. Отже, протягом семестра максимальний бал, який може отримати студент – **60**. Студент допускається до підсумкового оцінювання за умови відпрацювання пропущених занять (всі пропуски студентом без поважної причини повинні бути відпрацьовані) та за умови набирання мінімальної (**30**) кількості балів протягом роботи за семестр. Підсумковий семестровий контроль проводиться у формі іспиту (**40** балів). Екзаменаційний білет включає 2 теоретичні питання (по **20** балів) та задачу (**20** балів).

7.3 Шкала відповідності оцінок

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

8. Структура навчальної дисципліни. Тематичний план лекцій

№ п/п	Номер і назва теми	Кількість годин	
		Лекції	С/Р
Змістовий модуль 1 Структура адронів			
1	Тема 1 Лагранжіан та симетрії КХД. Особливості сильної взаємодії	6	12
1	Тема 2 Структура адронів в реакціях розсіяння	6	12
2	Тема 3 Лептонні розпади мезонів	6	12
3	Модульна контрольна робота 1		
Змістовий модуль 2 Розпади мезонів			
4	Тема 4 Напівлептонні розпади мезонів	6	12
5	Тема 5 Нелептонні розпади мезонів	6	12
	Модульна контрольна робота 2		
	ВСЬОГО	30	60

Загальний обсяг 90 год., в тому числі:

Лекцій – 30 год.

Самостійна робота – 60 год.

9. Рекомендовані джерела:

1. В.М. Горкавенко. Діаграмна техніка Фейнмана. Ймовірність розпаду та переріз розсіяння частинок.. Метод. посібник. ВПЦ «Київський університет» 2014. 261 с.
2. В.М. Горкавенко. Принципи побудови лагранжіана Стандартної моделі фізики елементарних частинок. Метод. посібник. К: «АгенствоУкраїна», 2017, 136с.
3. Окунь Л.Б. “Лептоны и кварки”, М.: Наука, 1980.
4. Окунь Л.Б., Слабое взаимодействие элементарных частиц, М.: ГосИздатФизМатЛит, 1963.
5. Кейн Г. “Современная физика элементарных частиц”, М.: Мир, 1990.
6. Эрикссон Т., Вайзе В. Пионы и ядра, М.: Наука, 1991.
7. Окунь Л.Б. “Физика элементарных частиц”, М., 1988.
8. Белокуров В.В., Ширков Д.В. “Теория взаимодействий частиц”, М., Наука, 1986.
9. T. Cheng, L. Li "Gauge Theory of elementary particle physics", Oxford University Press; 1st edition (January 7, 1988) -- 548 pp.
10. Фрауэнфельдер Г., Хенли Э. "Субатомная физика", М.: Мир, 1979.
11. Никитин Ю.П., Протасов В.П., Топоркова Э.П. "Сборник задач по физике элементарных частиц", М.: Энергоиздат, 1992.
12. Нишиджима К. "Фундаментальные частицы" - М.: Мир, 1965.

Додаткова:

1. Емельянов В. М. Стандартная модель и ее расширения. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007.
2. S. Alekhin et al., A facility to Search for Hidden Particles at the CERN SPS: the SHiP physics case, Rept. Prog. Phys. 79 (2016) 124201 [1504.04855].
3. Гибсон У., Поллард Б. Принципы симметрии в физике элементарных частиц. 1977.

4. Любимов А., Киш Д. Введение в экспериментальную физику частиц. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001.
5. Перкинс Д. Введение в физику высоких энергий. - М.: Энергоатомиздат, 1991.
6. V. Rubakov, "Classical Theory of Gauge Fields", Princeton University Press; First Edition (May 26, 2002) -- 456 pp.

Для самостійного опанування студентами виносяться наступні задачі, передбачені робочою програмою навчальної дисципліни за вибором «Основи квантової хромодинаміки»:

ЗАДАЧІ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

1. Побудувати графік залежності бранчінга ферміонних розпадів бозону Хіггса по всіх можливим каналам як функцію від його маси. Розглянути інтервал маси бозону Хіггса від нуля до 5 GeV. Повну ширину розпаду бозона Хіггса вважати рівною сумі ширин розпаду по всіх ферміонним каналам. Під ферміонами слід розуміти всі ферміони СМ з масами, що визначені в СМ. Ширини розпаду слід рахувати в першому незникаючому наближенні.
2. Побудувати графік залежності бранчінга ферміонних розпадів Z-бозону по всіх можливим каналам як функцію від його маси. Розглянути інтервал маси Z-бозону від нуля до 5 GeV. Повну ширину розпаду Z-бозону вважати рівною сумі ширин розпаду по всіх ферміонним каналам. Під ферміонами слід розуміти всі ферміони СМ з масами, що визначені в СМ. Ширини розпаду слід рахувати в першому незникаючому наближенні.
3. Знайти парціальні ширини розпаду t-кварка на W-бозон та всі можливі кварки у першому незникаючому наближенні.
4. Знайти загальний вираз для перерізу пружнього розсіяння мюона на π^- мезонів системі центру інерції.
5. Знайти переріз утворення пари $\pi^+ \pi^-$ при електрон-позитронних зіткненнях в системі центру інерції.
6. Знайти ширину розпаду нейтрального піона на два фотона. Порівняти результат з експериментальними даними.
7. Знайти вираз для перерізу пружнього розсіяння електрона на протонів системі відліку, де протон нерухомий. Кінцеву відповідь виразити через електричні та магнітні формфактори протона.
8. Знайти ширину розпаду зарядженого ρ -мезона на заряджений лептон та відповідне нейтрино. Порівняти результат з експериментальними даними.
9. Знайти ширину розпаду нейтрального ρ^0 мезона на електрон-позитронну, мюон-антимюонну пару. Порівняти результат з експериментальними даними.
10. Знайти ширину розпаду τ лептона на а) ρ -мезон та відповідне нейтрино, б) π -мезон та відповідне нейтрино. Порівняти результат з експериментальними даними.
11. Пояснити, чому розмірність матричного елементу $\langle \pi^0 | \bar{u} \gamma_\mu d | \pi^- \rangle$, що описує лептонний розпад піонів, дорівнює GeV у квадраті, а розмірність матричного елементу $\langle 0 | \bar{u} \gamma_\mu \gamma^5 d | \pi^- (p) \rangle$, що описує напівлептонні розпади піонів дорівнює GeV у першій ступені?
12. Знайти асиметрію в розпаді B^0 та анти B^0 по каналу $J/\Psi + K$ мезон. Вважати, що $|p| + |q| = 1$, $p/q = \text{Exp}(-2i\beta)$ та параметри B^0 та анти B^0 змішування. Знайти кінцеву формулу для знаходження фази β .

Розв'язок задач необхідно надсилати на електронну адресу gorkavol@gmail.com. Якщо задачі здані невчасно без поважних причин або не зараховані, студент втрачає можливість написання другої контрольної роботи та отримання відповідних модульних балів, без можливості перескладання.