

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра теоретичної фізики імені академіка І.М.Ліфшиця

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Перший проректор

“ _____ ” _____ 20__ р.

Робоча програма навчальної дисципліни

Квантова теорія поля

(назва навчальної дисципліни)

спеціальність (напря́м) _____ 8.04020301 – фізика _____

спеціалізація _____

факультет _____ фізичний _____

2016 / 2017 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою факультету (інституту, центру)

“ 29 ” _____ серпня _____ 2016 року, протокол № 9

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:

Степановський Юрій Петрович, канд. фіз-мат., с.н.с.

Програму схвалено на засіданні кафедри

теоретичної фізики імені академіка. М. Ліфшиця

Протокол від “ 2 ” _____ липня _____ 2016 року протокол № 7

Завідувач кафедри теоретичної фізики академіка. М. Ліфшиця

_____ (Рашба Г.І.)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Програму погоджено методичною комісією

фізичного факультету

назва факультету, для здобувачів вищої освіти якого викладається навчальна дисципліна

Протокол від “ 29 ” _____ вересня _____ 2016 року № 6

Голова методичної комісії _____

_____ Макаровський М.О.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни “**Квантова теорія поля**” складена відповідно до освітньо-професійної (освітньо-наукової) програми підготовки другого рівню вищої освіти – магістр

напряму підготовки 6.040203 – фізика

спеціальності 8.04020301 – фізика

Предметом вивчення навчальної дисципліни “Квантова теорія поля” є теорія квантових полів, головним чином електромагнітного. Загальні властивості релятивістських хвильових рівнянь, рівняння Дірака для електрона і рівняння Максвелла для електромагнітного поля. Канонічне квантування полів. Взаємодія електронів та фотонів. Правила Файнмана для обчислення ймовірностей фізичних процесів.

Програма навчальної дисципліни складається з таких розділів:

Розділ 1. Релятивістська квантова механіка

Розділ 2. Релятивістська теорія квантованих полів

1. Мета та завдання навчальної дисципліни

1.1. Метою викладання навчальної дисципліни «Квантова теорія поля» сформувати уявлення студентів про квантову теорію поля, зокрема про квантову електродинаміку, квантову хромодинаміку та теорію електрослабких взаємодій.

1.2. Основними завданнями вивчення дисципліни «Квантова теорія поля» є навчити студентів

- основам релятивістської квантової механіки
- основам математичної теорії скінченно вимірних представлень групи Лоренца,
- основам релятивістської теорії квантованих полів
- користуючись навчальною та довідковою літературою, обирати адекватні методи вирішення задач теорії квантованих полів.

1.3. Згідно з вимогами освітньо-професійної (освітньо-наукової) програми студенти повинні досягти таких результатів навчання:

знати: якісні, наближені та точні методи дослідження різноманітних проблем квантової теорії поля.

вміти: за допомогою методів квантової теорії поля досліджувати та вирішувати конкретні задачі, виникаючі у практичній діяльності.

2. Опис навчальної дисципліни

Найменування показника	Галузь знань (предметна область), напрям, спеціальність, рівень вищої освіти / освітньо-кваліфікаційний рівень	Характеристика навчальної дисципліни
		денна форма навчання
Кількість кредитів – 1,5	Галузь знань (предметна область) 0402 «Фізико-математичні науки»	за вибором студента
		Рік підготовки 5-й
Індивідуальне завдання (назва)	Напрямок: 6.040203 - фізика	Семестр
Загальна кількість годин 54	Спеціальність: 8.04020301 – фізика	9-й
		Лекції 36 год.
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 2 самостійної роботи студента – 1	Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень) магістр	Практичні, семінарські немає
		Лабораторні немає
		Самостійна робота 18 год.
		Індивідуальні завдання: немає
		Вид контролю: залік

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної і індивідуальної роботи становить (%):
для денної форми навчання – 200%

3. Виклад змісту навчальної дисципліни

Розділ 1. Релятивістська квантова механіка

Тема 1. Предмет курсу і коротка історія розвитку квантової теорії поля. Експерименти, підтверджуючі справедливість квантової теорії поля. Розвиток уявлень про фотони, глюони, електрони, нейтрино та кварки, частинки та античастинки. Когерентні стани фотонів і граничний перехід від квантової електродинаміки до класичної.

Тема 2. Рівняння Клейна - Гордона.
Введення електромагнітної взаємодії в рівняння Клейна-Гордона. Негативні енергії. Античастинки. Зарядове спряження. Звертання часу. Вирази для 4-вектора струму. Скалярний добуток.

Тема 3. Групи Лі та їх представлення. Групи Лоренца і Пуанкаре. Спінорні представлення групи Лоренца. Представлення групи Лоренца у загальному випадку.

Тема 4. Хвильові рівняння безмасових полів.
Рівняння Максвелла у формі Майорани. Рівняння слабких гравітаційних хвиль. Рівняння Вейля для нейтрино. Мала група Лоренца та хвильові рівняння безмасових полів.

Тема 5. Рівняння Дірака.

Властивості матриць Дірака. Релятивістська інваріантність рівняння Дірака. Введення електромагнітної взаємодії в рівняння Дірака. 4-вектор струму. Скалярний добуток.

Тема 6. Нерелятивістська границя рівняння Дірака.

Нерелятивістське наближення Паулі. Магнітний момент електрона. Тонка взаємодія електрона з електричним полем. „Розмір” електрона.

Тема 7. Античастинки.

Рішення з негативною енергією. Зарядове спряження. Позитрони як електрони з негативною енергією, що рухаються назад у часі.

Тема 8. Спін у теорії Дірака.

Рішення рівняння Дірака для вільних частинок з визначеними енергією і імпульсом. Спін електрона. Релятивістський опис спіну електрона.

Розділ 2. Релятивістська теорія квантованих полів

Тема 9. Калібрувальні поля.

Електромагнітне поле як калібрувальне. Гравітаційне поле як калібрувальне. Індуктована гравітація. Глюонні поля.

Тема 10. Електрослабка теорія та квантова хромодинаміка.

Векторні бозони в електрослабкій теорії та глюони у квантовій хромодинаміці як кванти калібрувальних полів. Бозон Хігса.

Тема 11. Квантування вільних полів.

Квантування скалярного поля. Розклад операторів поля по плоским хвилям. Вакуумні середні для добутоків операторів поля. Хронологічний і нормальний добуток операторів.

Тема 12. Квантування електромагнітного поля.

Подолання труднощів, що виникають при квантуванні електромагнітного поля. Перестановочні співвідношення для операторів 4-потенціалів електромагнітного поля. Ін-дефінітна метрика.

Тема 13. Квантування електронно-позитронного поля.

Антикомутатори операторів поля. Хронологічний і нормальний добуток операторів поля.

Тема 14. Взаємодія квантованого електромагнітного поля з квантованим електронно-позитронним полем.

Система рівнянь квантової електродинаміки в гейзенберговському представленні. Представлення взаємодії. Інваріантна теорія збурень. Матриця розсіювання.

Тема 15. Деякі квантово-електродинамічні явища.

Графічне представлення нормальних добутоків. Найпростіші діаграми. Імпульсне представлення. Правила Фейнмана для обчислення матричних елементів матриці розсіювання. Розсіювання фотона електроном: матричний елемент розсіювання; диференціальний перетин розсіювання у випадку неполяризованих частинок.

Тема 16. Усунення розбіжностей з матриці розсіювання і перенормуємість квантової електродинаміки.

Вищі порядки теорії збурень і розбіжності в квантовій електродинаміці. Власна енергія фотона. Власна енергія електрона. Вершинна функція. Перенорміровка маси і заряду.

Тема 17. Радіаційні поправки.

Поляризація вакууму і модифікація закону Кулона. Аномальний магнітний момент електрона. Радіаційне зміщення рівнів атома водню.

Тема 18. Випаровування чорних дірок.

Когерентні та «стиснені» стани у квантовій електродинаміці. Чорні дірки, їх випаровування та інформаційний парадокс у теорії випаровування чорних дірок.

4. Структура навчальної дисципліни

Назви модулів і тем	Кількість годин					
	Денна форма					
	Усього	у тому числі				
		л	п	лаб	інд	с.р
1	2	3	4	5	6	7
9 семестр						
Розділ 1. Релятивістська квантова механіка						
Тема 1	1,5	1				0,5
Тема 2	1,5	1				0,5
Тема 3	2	1				1
Тема 4	2	1				1
Тема 5	3	2				1
Тема 6	3	2				1
Тема 7	3	2				1
Тема 8	3	2				1
Розділ 2. Релятивістська теорія квантованих полів						
Тема 9	3	2				1
Тема 10	3	2				1
Тема 11	3	2				1
Тема 12	4	3				1
Тема 13	3	2				1
Тема 14	3	2				1
Тема 15	3	2				1
Тема 16	3	2				1
Тема 17	3	2				1
Тема 18	3	2				1
Тема 19	2,5	2				0,5
Тема 20	1,5	1				0,5
Усього годин	54	36				18
Залік						

5. Теми семінарських (практичних, лабораторних) занять

Практичні заняття учбовим планом не передбачені.

6. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	Форма контролю
1	2	3	4
1.	Тема 1. Рівняння Шредінгера як нерелятивістська границя рівняння Клейна-Гордона.	1	опитування
2.	Тема 2. Частинка зі спином нуль у кулоновському полі.	1	опитування
3.	Тема 3. Функції Гріна рівняння Клейна-Гордона.	1	опитування
4.	Тема 4. Теорема Майорани-Пенроуза про властивості спінтензорів та її застосування.	1	опитування
5.	Тема 5. Парадокс Клейна.	1	опитування
6.	Тема 6. Функції Гріна рівняння Дірака.	1	опитування
1	2	3	4

7.	Тема 7. Розсіювання релятивістського електрона у зовнішньому полі по теорії збурень.	1	опитування
8.	Тема 8. Релятивістський атом водню.	1	опитування
9.	Тема 9. Прецесія Томаса та рівняння Баргмана-Мішеля-Телегді.	1	опитування
10.	Тема 10. Функції Гріна квантованого скалярного поля.	1	опитування
11.	Тема 11. Функції Гріна квантованого електромагнітного поля.	1	опитування
12.	Тема 12. Функції Гріна квантованого електронно-позитронного поля.	1	опитування
13.	Тема 13. Неспроможність локалізувати фотон у скінченній області. Теорема Вайнберга-Вітена.	1	опитування
14.	Тема 14. Рівняння Максвелла у загально-коваріантному вигляді та грассманові змінні. Поняття про суперсиметрію.	1	опитування
15.	Тема 15 Розсіювання електрона на електроні: матричний елемент розсіювання; перетин розсіювання.	1	опитування
16.	Тема 16 Анігіляція електронно-позитронної пари: матричний елемент двухфотонної анігіляції; розпад позитронія.	1	опитування
17.	Тема 17. Випромінювання довгохвильових фотонів. Інфрачервона катастрофа.	1	опитування
18.	Тема 18. Поле випромінювання класичного струму; когерентні стани квантованого електромагнітного поля.	1	опитування
	Разом	18	

7. Індивідуальні завдання

8. Методи навчання

Лекції, самостійна робота.

9. Методи контролю

Залік.

10. Розподіл балів, які отримують студенти

Приклад для заліку

Поточний контроль та самостійна робота		Сума
Розділ 1	Розділ 2	
T1-T8	T9-T18	100
50	50	

T1, T2 ... T9 – теми розділів.

Для зарахування заліку студент повинен здати 2 модулі і набрати не менше 25 балів за 1, 2 модулі і набрати у підсумку не менше 50 балів.

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка за національною шкалою	
	для екзамену	для заліку
90 – 100	відмінно	зараховано
70-89	добре	
50-69	задовільно	
1-49	незадовільно	не зараховано

11. Рекомендоване методичне забезпечення

1. Робоча програма навчальної дисципліни.
2. Навчальні посібники, монографії, наукові статті.
3. Мультимедійні презентації деяких лекцій.

Базова література

1. А.И.Ахиезер, В.Б.Берестецкий, "Квантовая электродинамика", Наука, 1981.
2. С.Швебер, "Введение в релятивистскую квантовую теорию поля", ИЛ, 1963.
3. Н.Н.Боголюбов, Д.В.Ширков, "Введение в теорию квантованных полей", Наука, 1976.
4. І. О.Вакарчук, "Квантова механіка", Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2012.

Допоміжна література

5. В.Тирринг, "Принципы квантовой электродинамики", Высшая школа, 1964.
6. Ф.Дайсон "Релятивистская квантовая механика", Москва-Ижевск, РХД, 2009.
7. Р.Фейнман "КЭД – странная теория света и вещества", Москва, Астрель, 2012.
8. Н.Биррелл, П.Девис, "Квантованные поля в искривленном пространстве-времени", Мир, 1984.
9. А. И. Ахиезер, Ю. П. Степановский. "От квантов света до цветных кварков", Киев, Наукова думка, 1993.
10. Ю. П. Степановский. От уравнений Максвелла до фазы Берри и сонолюминисценции: проблемы теории электромагнитного и других безмассовых полей // Электромагнитные явления, Том 1, № 2, 1998, С. 180-219.

Інформаційні ресурси

Сайт кафедри теоретичної фізики:

http://kaf-theor-phys.univer.kharkov.ua/ukrainian/for%20students_study_ukr.html

http://kaf-theor-phys.univer.kharkov.ua/ukrainian/for%20students_ref_ukr.html

З освітніх матеріалів МФТІ:

<http://lectoriy.mipt.ru/course/viewall/>