

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
«Московский физико-технический институт (государственный университет)»
МФТИ

«УТВЕРЖДАЮ»
Проректор по учебной и методической работе
_____ Д.А. Зубцов
« » _____ 20 г.

Рабочая программа дисциплины (модуля)

по дисциплине: Квантовая теория поля

по направлению: 010900 «Прикладные математика и физика»

профиль подготовки

магистерская программа: 010915 «Физика высоких энергий»

факультет: ФОПФ

кафедра: Фундаментальных и прикладных проблем физики микромира

курс: 4

квалификация: бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации:

7 (Осенний) – Диф.зачет, 8 (Весенний) Экзамен

Аудиторных часов: 136 всего, в том числе:

лекции: 68 час.

практические (семинарские) занятия: 68 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 40 час., в том числе:
задания, курсовые работы: 0 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 206, всего зач. ед.: 6

Программу составил: к.ф.-м.н. Наумов Д.В.

Программа обсуждена на заседании кафедры 14 октября 2014 г.

СОГЛАСОВАНО:

Заведующий кафедрой

Казиков Д.И.

Декан ФОПФ

Трунин М.Р.

Начальник учебного управления

Гарайшина И.Р.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

Цель курса - освоение студентами фундаментальных знаний в области современной физики элементарных частиц, изучение основ теории электромагнитных и слабых взаимодействий и методов теоретического описания различных процессов физики электрослабых взаимодействий, а также приобретение базовых навыков самостоятельной научно-исследовательской работы.

Задачи дисциплины

- формирование базовых знаний в области теоретической физики элементарных частиц;
- обучение студентов современным методам теоретического описания различных процессов электромагнитных и слабых взаимодействия и навыкам решения сопутствующих задач;
- формирование подходов к выполнению студентами исследований в области теоретической физики в рамках выпускных работ на степень магистра.

2. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы бакалавриата

Дисциплина «**Квантовая теория поля**» включает в себя разделы, которые могут быть отнесены к вариативной части профессионального цикла ООП М.2.

Дисциплина «**Квантовая теория поля**» базируется на материалах курсов, читаемых в рамках базовой и вариативной частей УЦ ООП Б.2 и Б.3 (Математический анализ, Дифференциальные уравнения, Теория функций комплексного переменного, Уравнения математической физики, Физика элементарных частиц), и относится к профессиональному циклу.

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Освоение дисциплины «Квантовая теория поля» направлено на формирование следующих общекультурных и профессиональных компетенций магистра:

а) общекультурные (ОК):

- владение культурой мышления, способностью к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке целей и выбору путей её достижения (ОК-1);
- способность к саморазвитию, повышению квалификации, устранению пробелов в знаниях и самостоятельному обучению в контексте непрерывного образования, способность осваивать новую проблематику, язык, методологию и научные знания в избранной предметной области (ОК-6);
- способность работать с информацией в глобальных компьютерных сетях (ОК-12);

б) профессиональные (ПК):

- способность применять основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в физике, химии, экологии, других естественных и социально-экономических науках (ПК-3);
- способность к выявлению сущности задач, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и привлечению соответствующего физико-математического аппарата для их решения (ПК-4);
- способность применять базовую лексику и основную терминологию по направлению подготовки, способность к подготовке и редактированию текстов профессионального и социально-значимого содержания на русском и английском языках (ПК-5);
- способность брать на себя ответственность за качество и результаты своей деятельности (ПК-10);
- способность применять физические подходы и методы выявления структуры объектов и связи явлений в природе, технике и технологиях (ПК-11);
- способность применять теорию и методы математики и информатики для построения качественных и количественных моделей в науке, технике и технологиях (ПК-12).

В результате освоения дисциплины «Квантовая теория поля» обучающийся должен:

знать:

- лагранжиан Стандартной Модели;
- принципы квантования калибровочных теорий;
- правила Фейнмана для электрослабых взаимодействий;
- партонную модель, партонные функции распределения и функции фрагментации

уметь:

- эффективно применять вышеуказанные знания на практике для решения фундаментальных и прикладных научных задач в области современной теоретической физики элементарных частиц.

владеть:

- техникой вычисления ширин и сечений в рамках электрослабой теории;
- техникой вычислений диаграмм Фейнмана

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№ п/п	Тема (раздел) дисциплины	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу				
		Лекции	Практич. (семинар.) задания.	Лаборат. работы	Задания, курсовые работы	Самост. работа.
1	Введение	2	0	0	0	0
2	Уравнение Дирака	6	0	0	0	2
3	Элементы классической теории поля (I)	2	0	0	0	2
4	Элементы квантования поля	2	0	0	0	4
5	S-матрица	4	0	0	0	4
6	Некоторые процессы в КЭД	2	10	0	0	4
7	Слабые взаимодействия. Распады	2	20	0	0	4
8	Слабые взаимодействия. Рассеяние лептонов на лептонах	2	10	0	0	4
9	Слабые взаимодействия. Рассеяние лептонов на нуклонах	4	14	0	0	4
10	Слабые взаимодействия. Флэйворная физика	16	2	0	0	4
11	Элементы классической теории поля (II)	6	0	0	0	4
12	Стандартная Модель	20	12	0	0	4
Итого часов		68	68	0	0	40
Общая трудоемкость		176 час., 6 зач.ед.				

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 7 (Осенний), 8 (Весенний)

1 Введение.

Основные принципы квантовой механики. Уравнение Шредингера. Некоторые решения уравнения Шредингера. Гармонический осциллятор и вторичное квантование. Квантовые состояния.

Основные понятия СТО. 4-векторы, тензоры, билинейные формы.

Система единиц $\hbar=c=1$. Система единиц Хэвисайда. Уравнения Максвелла.

Краткий обзор физики элементарных частиц. Рождение и уничтожение частиц. Релятивистские эффекты. Что измеряют экспериментаторы. Ширины распада. Времена жизни. Сечения. Чем нас не устраивает квантовая механика? Соотношения неопределенности при конечной скорости света.

2 Уравнение Дирака.

Уравнение Паули для частицы со спином $\frac{1}{2}$. Матрицы Паули. Уравнение Клейна-Гордона. Вывод уравнения Дирака. Электрон в электромагнитном поле. Нерелятивистский предел уравнения Дирака. Алгебра матриц Дирака. Разложение по базису. Преобразование Фирца. Общее решение уравнения. Дирака. Проекционные операторы. Полезные соотношения.

3 Элементы классической теории поля (I)

Минимум действия. Функция Лагранжа. Уравнения движения. Гамильтониан, импульс, момент количества движения. Лагранжиан для (псевдо) скалярного, векторного и спинорного полей. Симметрии и теорема Нетер.

4 Элементы квантования поля.

Скалярное поле. Векторное поле. Спинорное поле.

5 S-матрица.

Представления Шредингера и Гейзенберга. Представление взаимодействия. S-матрица Матричные элементы. Ширина. Сечение. Кинематика

6 Некоторые процессы в КЭД.

Правила Фейнмана.

Эффект Комптона $e-\gamma \rightarrow e-\gamma$

Сечение реакции $e-e^+ \rightarrow \mu-\mu^+$

Сечение аннигиляции $e-e^+ \rightarrow$ адроны. Заряды кварков

Рождение резонансов. Формула Брейта-Вигнера

Петли. Расходимости и перенормировки

7 Слабые взаимодействия.

Распады Лагранжиан и правила Фейнмана.

Распад мюона: $\mu \rightarrow e\nu_e\nu_\mu$

Распад пиона: $\pi \rightarrow \mu\nu_\mu$ и $\pi \rightarrow e\nu_e$

Распад нейтрона: $n \rightarrow p e \bar{\nu}_e$

Распады тау-лептона

Распады W,Z бозонов

8 Слабые взаимодействия. Рассеяние лептонов на лептонах.

Кинематика. Заряженные токи. Нейтральные токи.

Интерференция заряженных и нейтральных токов. Сечение реакции $e-e^+ \rightarrow \mu-\mu^+$ с учетом Z бозона.

9 Слабые взаимодействия. Рассеяние лептонов на нуклоне.

Кинематика. Кварк-партонная модель. Глубоконеупругое рассеяние заряженных лептонов на нуклоне. Сечение. Структурные функции.
Глубоконеупругое рассеяние нейтрино на нуклоне. Сечение. Структурные функции.
Связь структурных функций нуклона с кварк-партонными распределениями.
Полуинклюзивные процессы. Функции фрагментации.
Правила сумм. Как измерить экспериментально сечение рассеяния нейтрино на нуклоне?
Квазиупругое рассеяние лептона на нуклоне. Форм-факторы. Резонансное рассеяние лептона на нуклоне. Эффекты в ядре*

10 Слабые взаимодействия. Флэйворная физика.

Осцилляции нейтрино
Осцилляции в вакууме
Осцилляции в веществе
КТП и нейтринные осцилляции
Распады адронов с несохранением странности
CP-нарушение в системе нейтральных каонов
Флэйворная физика

11 Элементы классической теории поля (II).

Глобальные симметрии
Калибровочные абелевы симметрии. Калибровочные неабелевы симметрии.
Нарушение симметрии. Глобальная симметрия и теорема Голдстоуна. $U(1)$ калибровочная симметрия $SU(2)$ калибровочная симметрия. Механизм Хиггса

12 Стандартная Модель.

Вид слабого взаимодействия. Исторический обзор.
Лагранжиан Стандартной Модели для одного поколения лептонов.
Нарушение калибровочной симметрии.
Массы заряженных лептонов и нейтрино.
Массы векторных бозонов.
Масса бозона Хиггса.
Лагранжиан Стандартной Модели после нарушения симметрии.
Лагранжиан Стандартной Модели для трех поколений лептонов и кварков.
Матрицы смешивания кварков и лептонов.
Случайные симметрии и сохраняющиеся квантовые числа.
Вычисления некоторых ширин распада бозона Хиггса

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Необходимое оборудование для лекций и практических занятий: Меловая доска

Необходимое программное обеспечение: не требуется

Обеспечение самостоятельной работы: доступ к библиотеке и базам данных по журналам Теоретическая и математическая физика, European Physical Journal C, Journal of High Energy Physics, Lecture Notes in Physics, Nuclear Physics B, Physics Letters B, Physics Reports, Physical Review D, Reviews of Modern Physics.

6. Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

Основная литература:

- 1 М.Пескин, Д.Шредер, Введение в квантовую теорию поля. РХД, 2001
- 2 Л.Б. Окунь. Лептоны и кварки (3 изд.). М.: УРСС, 2005.
- 3 Н.Н. Боголюбов, Д.В. Ширков. Введение в теорию квантованных полей (4 изд., испр.). М.: Наука, 1984.
- 4 С. Вайнберг. Квантовая теория поля, т. 1, 2. М.: Физматлит, 2003.
- 6 В.А. Рубаков. Классические калибровочные поля. Бозонные теории. (2 изд.). М.: УРСС, 2005.
- 7 С.М.Биленький, Введение в диаграммную технику Фейнмана, М.:Атомиздат, 1971
- 8 М.И.Высоцкий, Лекции по теории электрослабых взаимодействий, М.:ИТЭФ
- 9 М.В. Терентьев, Введение в теорию элементарных частиц, М.:ИТЭФ

7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

-

8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Информационные ресурсы: Доступные через интернет журналы по физике элементарных частиц (Теоретическая и математическая физика, European Physical Journal C, Journal of High Energy Physics, Lecture Notes in Physics, Nuclear Physics B, Physics Letters B, Physics Reports, Physical Review D, Reviews of Modern Physics), а также учебное пособие и сборник задач, разработанные для данного курса.

9. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

-

10. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

-

11. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации по итогам обучения

Перечень контрольных вопросов для сдачи экзамена в 8-ом семестре:

1. Лагранжиан квантовой электродинамики

2. Лагранжиан слабого взаимодействия
3. Лагранжиан Стандартной Модели
4. Квантование скалярных и спинорных полей
5. Правила Фейнмана для квантовой электродинамики
6. Правила Фейнмана для слабых взаимодействий.
7. Четырех-фермионное приближение Ферми и Стандартная Модель
8. S-матрица. Представление взаимодействия
9. Кинематика процессов лептон-адронного рассеяния.
10. Глубоконеупругое рассеяние лептонов на нуклонах.
11. Квазиупругое рассеяние лептонов на нуклонах
12. Резонансное рассеяние лептонов на нуклонах
13. Структурные функции, бьеркеновский скейлинг.
14. Дифференциальное сечение глубоконеупругого рассеяния заряженного лептона на нуклоне
15. Дифференциальное сечение глубоконеупругого рассеяния (анти) нейтрино на нуклоне
16. Партонные функции распределения и функции фрагментации.
17. Кинематика и сечение процесса электрон-позитронной аннигиляции в адроны.
18. Распады W,Z бозонов
19. Распады бозона Хиггса
20. Генерация масс калибровочных бозонов в Стандартной Модели
21. Генерация масс лептонов и кварков в Стандартной Модели
22. Смешивание кварков и лептонов в Стандартной Модели
23. Осцилляции нейтрино в вакууме
24. Осцилляции нейтрино в веществе
25. Нарушение P-,C-,T-симметрии в Стандартной Модели
26. Релятивистская формула Брейта-Вигнера
27. Распады адронов с несохранением странности
28. CP-нарушение в системе нейтральных каонов
29. Расходимости и перенормировки. Ренорм-группа
30. Глобальная и калибровочная симметрии
31. Механизм Голдстоуна

32. Механизм Хиггса
33. Введение взаимодействия и калибровочная инвариантность