

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова  
ФИЛИАЛ МГУ В Г. ДУБНЕ

**УТВЕРЖДАЮ**

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Наименование дисциплины:**

Положения стандартной теории элементарных частиц

---

**Уровень высшего образования:**

Магистратура

---

**Направление подготовки:**

03.04.02 Физика

---

**Направленность (профиль) ОПОП:**

Физика элементарных частиц

---

**Форма обучения:** Очная форма обучения

---

Дубна 2022 г.

## **Аннотация к рабочей программе дисциплины «Положения стандартной теории элементарных частиц»**

В курсе излагаются базовые сведения о принципах квантовой теории поля (КТП), являющейся основным математическим инструментом для описания известных элементарных частиц, а также составляющих их кварков и глюонов. В нем рассматриваются фундаментальные вопросы определения энергии, импульса и спина частиц, а также вводятся понятия физического вакуума, хронологического упорядочивания, пропагатора, виртуальной частицы, S-матрицы рассеяния и диаграмм Фейнмана. Настоящий курс включает также примеры расчета сечений базисных процессов взаимодействия элементарных частиц.

### **Разделы рабочей программы**

1. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы высшего образования (ОПОП ВО).
2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (при наличии)
3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с формируемыми компетенциями
4. Формат обучения.
5. Язык обучения.
6. Содержание дисциплины.
7. Объем дисциплины
8. Структурированное по темам (разделам) содержание дисциплины (модуля) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий
9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.
10. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).
11. Шкала оценивания.
12. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.
13. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.
14. Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение и информационные справочные системы

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Дисциплина «Положения стандартной теории элементарных частиц» реализуется на 2-ом курсе в 3-ем семестре магистратуры и входит в состав вариативной части.

## 2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия

Базовые знания в области общей и теоретической физики в объеме классических университетских курсов

## 3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с формируемыми компетенциями

В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора (индикаторов) достижения компетенции	Результаты обучения
<b>МПК-1</b> Способен решать практические задачи профессиональной деятельности в области физики элементарных частиц на основе фундаментальных знаний	<b>ИМПК-1.2</b> умеет выполнять следующие операции в рамках решения профессиональной деятельности: вычисления на древесном уровне ширины и сечений различных процессов физики элементарных частиц	<b>З-1</b> Знать: постулаты квантовой теории поля, ее основные методы для описания физических взаимодействий элементарных частиц. <b>У-1</b> Уметь: проводить квантование, рассчитывать характеристики конкретных процессов. <b>В-1</b> Владеть: математическими основами квантовой теории поля.

1. **Форма обучения:** очная.

2. **Язык обучения:** русский.

### 3. Содержание дисциплины

*Тема 1. Аппарат КТП, как основной метод описания физических взаимодействий элементарных частиц.*

.

*Тема 2. Математические основы квантовой теории поля.*

.

*Тема 3. Полевая природа частиц и основные уравнения на примере скалярных частиц.*

.

*Тема 4. Квантование фермионного и электромагнитного полей.*

.

Тема 5. Аппарат вычисления матричных элементов амплитуды рассеяния.  
Примеры расчета характеристик конкретных процессов.

Тема 6. Примеры расчета характеристик конкретных процессов.

## 7. Объем дисциплины

НАЗВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	Трудоемкость в зачетных единицах	объем учебной нагрузки в ак. часах					Самостоятельная работа студентов
		Общая трудоемкость	в том числе ауд.занятий				
			Общая аудиторная нагрузка	Лекций	Семинаров		
Вопросы стандартной теории элементарных частиц	2,00	72	36	18	18		36

## 8. Структурированное по темам (разделам) содержание дисциплины (модуля) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

Изучение курса «Вопросы стандартной теории элементарных частиц» включает в себя лекции, на которых рассматривается теоретическое содержание курса; семинарские занятия, предусматривающие углубленное изучение и обсуждение вопросов, обозначенных в темах дисциплины; самостоятельную работу, заключающуюся в подготовке к лекционным и семинарским занятиям. Темы, рассматриваемые на лекциях и изучаемые самостоятельно, закрепляются на семинарских занятиях, по вопросам, вызывающим затруднения, проводятся консультации.

№ темы	Виды учебной нагрузки и их трудоемкость, часы	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации

		Всего часов	Лекции	Семинары	Учебно-практические занятия (лабораторные или практические занятия)	Самостоятельная работа	
1	Аппарат КТП, как основной метод описания физических взаимодействий элементарных частиц	11	3	3		5	
2	Математические основы квантовой теории поля.	11	3	3		5	
3	Полевая природа частиц и основные уравнения на примере скалярных частиц.	11	3	3		5	
4	Квантование фермионного и электромагнитного полей.	11	3	3		5	
5	Аппарат вычисления матричных элементов амплитуды рассеяния.	11	3	3		5	
6	Примеры расчета характеристик конкретных процессов.	11	3	3		5	
	Промежуточная аттестация	6				6	экзамен
<b>ИТОГО:</b>		<b>72</b>	<b>18</b>	<b>18</b>		<b>36</b>	

ДЗ- домашнее задание, Оп- опрос, КР- контрольная работа, Т- тестирование, Реф - реферат

### 9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.

Текущий контроль по дисциплине «Вопросы стандартной теории элементарных частиц» осуществляется на лекциях и семинарских занятиях и заключается в оценке активности и качества участия в опросах и собеседованиях по проблемам, изучаемых в рамках тем лекционных занятий, аргументированности позиции; оценивается широта используемых теоретических знаний.

Промежуточная аттестация по дисциплине «Вопросы стандартной теории элементарных частиц» проводится в третьем семестре в форме экзамена.

Результаты сдачи экзамена оцениваются по шкале «неудовлетворительно», «удовлетворительно», «хорошо», «отлично». Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

### 10. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).

Перечень оценочных средств, применяемых на каждом этапе проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине, представлены в таблице

Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного
----------------------------------	--	--------------------------

		средства в фонде
<b>Оценочные средства текущего контроля</b>		
Тематический опрос (в форме ответов на вопросы)	Средство контроля, организованное как специальная беседа по тематике предыдущей лекции и рассчитанное на выяснение объема и качества знаний, усвоенных обучающимися по определенному разделу, теме, проблеме.	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины
Собеседование (в форме беседы, дискуссии по теме)	Средство контроля, организованное как свободная беседа, дискуссия по тематике изучаемой дисциплины, рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по всем изученным разделам, темам; свободного использования терминологии для аргументированного выражения собственной позиции.	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины
Тестирование	Средство контроля, позволяющее получить оценку уровня фактических знаний аспиранта по изученной теме.	Образцы тестов
<b>Оценочные средства промежуточной аттестации</b>		
Письменная работа	Средство, позволяющее оценить сформированность систематических представлений о методах научно-исследовательской деятельности.	Перечень вопросов к экзамену
Собеседование	Средство, позволяющее получить экспертную оценку знаний, умений и навыков по для оценивания и анализа различных фактов и явлений в своей профессиональной области.	Требования к порядку проведения собеседования

## 11. Шкала оценивания.

Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения			
	2/ неудовлетворительно	3/ удовлетворительно	4/ хорошо	5/ отлично
ЗНАТЬ: постулаты квантовой теории поля, ее основные методы для описания физических взаимодействий элементарных частиц ИМПК-1.2	Отсутствие знаний постулатов квантовой теории поля, ее основных методов для описания физических взаимодействий элементарных частиц	В целом успешные, но не систематически знания постулатов квантовой теории поля, ее основных методов для описания физических взаимодействий элементарных частиц	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы знания постулатов квантовой теории поля, ее основных методов для описания физических взаимодействий элементарных	Успешные и систематические знания постулатов квантовой теории поля, ее основных методов для описания физических взаимодействий элементарных частиц

			частиц	
УМЕТЬ: проводить квантование, рассчитывать характеристик и конкретных процессов ИМПК-1.2	Отсутствие умения проводить квантование, рассчитывать характеристики конкретных процессов	В целом успешное, но не систематическо е умение проводить квантование, рассчитывать характеристики конкретных процессов	В целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы умение проводить квантование, рассчитывать характеристики конкретных процессов	Успешное и систематическое умение проводить квантование, рассчитывать характеристики конкретных процессов
ВЛАДЕТЬ: математически основами квантовой теории поля ИМПК-1.2	Отсутствие/фра гментарное владение математически основами квантовой теории поля	В целом успешное, но не систематическо е владение математически основами квантовой теории поля	В целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы владение математически основами квантовой теории поля	Успешное и систематическое владение математическим и основами квантовой теории поля

## 12. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.

### *Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся*

#### **Пример:**

#### Вопросы по теории:

1. Теория возмущений и представление S-матрицы в виде ряда по степеням гамильтониана взаимодействия.
2. Построение гамильтониана взаимодействия.
3. Разложение волновой функции скалярной частицы по свободным решениям уравнения Клейна - Гордона.
4. Квантование фермионного поля.

## 13. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.

Экзамен проводится в виде письменной работы с последующим собеседованием по изучаемым темам.

### *Материалы промежуточной аттестации обучающихся*

#### Вопросы к экзамену:

1. Представление взаимодействия. Решение уравнения Шредингера для оператора эволюции по времени и его связь с S-матрицей Гейзенберга. Теория возмущений и представление S-матрицы в виде ряда по степеням гамильтониана взаимодействия.
2. Лагранжев формализм и уравнение движения. Построение гамильтониана взаимодействия. Волновые функции частиц и обобщенные координаты в КТП. Выражения для энергии и импульса через волновые функции частиц. Инвариантность лагранжиана относительно преобразований групп Лоренца и Пуанкаре и закон сохранения 4-импульса в лагранжевом формализме КТП. Тензор энергии-импульса поля
3. Скалярное вещественное поле и его лагранжиан. Релятивистское уравнение для волновой функции скалярной частицы. Разложение волновой функции скалярной частицы по свободным решениям уравнения Клейна - Гордона. Выражение энергии и импульса скалярного поля через амплитуды Фурье-преобразования.
4. Амплитуды Фурье разложения поля как операторы. Перестановочные соотношения операторов поля. Вторичное квантование. Вектора состояния в КТП как обобщение волновой функции системы. Определение вакуумного состояния в КТП. Операторы рождения и уничтожения частиц в КТП. Построение одно-, двух- и n-частичных состояний в КТП.
5. Нормальная форма записи выражений для операторов энергии и импульса и положительно-определенность энергии. Построение одно-, двух- и n-частичных состояний в КТП. Скалярное комплексное поле и зарядовые степени свободы частицы. Глобальное калибровочное преобразование и закон сохранения тока. Операторы заряда и тока частицы. Преобразование Фурье комплексного поля и операторы рождения и уничтожения заряженных частиц. Определение античастиц в КТП.
6. Уравнение Дирака и волновая функция фермиона. Лагранжиан фермионного поля и построение с его помощью выражений для энергии и импульса поля. Квантование фермионного поля. Специфика определения перестановочных соотношений для операторов рождения и уничтожения спинорных частиц и их связь со статистикой Ферми.
7. Лагранжиан электромагнитного (EM) поля .4-х мерный потенциал EM поля, построение уравнений Максвелла через антисимметричный тензор EM поля. Калибровочные преобразования первого и второго рода. Инвариантная калибровка Лоренца и безмассовый характер EM поля.
8. Особенности квантования EM поля по методу Гупта-Блеера, перестановочные соотношения для операторов рождения и уничтожения фотонов. Выражения для операторов энергии и импульса фотонного поля через операторы рождения и уничтожения. 4-х мерное разложение Фурье для 4-х мерного потенциала EM поля и вектора поляризации фотона. Калибровочные преобразования и их связь с поперечным характером поляризации фотона
9. Функции Грина в КТП. Перестановочная функция и её интегральное представление. Определение хронологического произведения двух полевых операторов. Причинная функция Грина и её связь с перестановочной функцией.
10. Интегральное представление для причинной функции и понятия пропагатора частицы и массовой поверхности. Теорема Вика о представлении хронологического произведения N операторов поля через сумму парных хронологических произведений.
11. Матричные элементы релятивистской амплитуды рассеяния в КТП. Технические аспекты вычисления коммутационных соотношений между операторами рождения, входящими в



определение векторов состояния начальных и конечных частиц и в выражение для амплитуды

12. Доказательство обращения в нуль вклада от амплитуды первого порядка по константе связи в квантовой электродинамике (КЭД). Переход от записи матричных элементов релятивистской амплитуды рассеяния в координатном пространстве к импульсному представлению.
13. Техника вычислений в рамках КЭД матричных элементов второго порядка на примере процесса рассеяния фотона на электроне (комптоновское рассеяние). Формулировка на этом примере алгоритма вычислений матричных элементов амплитуды рассеяния. Правила Фейнмана для графической иллюстрации алгоритма расчета амплитуды рассеяния
14. Выражение сечения рассеяния через релятивистскую амплитуду рассеяния и поток сталкивающихся частиц. Релятивистский фазовый объём конечного состояния. Закон сохранения энергии - импульса. Интегрирование фазового объёма по переменным конечных частиц. Понятие светимости ускорителя и подсчет числа событий столкновения.

#### **14. Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение и информационные справочные системы**

##### Основная литература

1. С.М. Биленький, "Введение в диаграммы Фейнмана и физику электрослабого взаимодействия", Москва, Энергоатомиздат, 1991.
2. Н.Н. Боголюбов, Ширков, "Квантовые поля", Москва, Наука, 1993.
3. С. Швебер, "Введение в квантовую теорию поля", Москва, Наука, 1967.

##### Дополнительная литература

1. А. А. Ахиезер, В.Б. Берестецкий, "Квантовая электродинамика" Москва, Наука, 1972

При реализации дисциплины может быть использовано следующее программное обеспечение:

1. Операционная система Astra Linux ( <https://astralinux.ru/> ) или аналог, с офисным пакетом, с пакетами разработчика.

##### Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем

1. База данных РИНЦ (российский индекс научного цитирования) <http://www.elibrary.ru>

##### Перечень интернет ресурсов

2. Сайт кафедры <https://msu-dubna.ru/hep>

#### **Материально-техническое обеспечение**

В соответствии с требованиями п. 5.3. образовательного стандарта МГУ по направлению подготовки «Физика», курс может быть прочитан в поточной аудитории при наличии: работающих электрических розеток, компьютера, проектора, экрана, учебной доски.