

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное учреждение  
высшего профессионального образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"  
Институт физики



**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор  
по образовательной деятельности КФУ  
Проф. Минзарипов Р.Г.

"\_\_" \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Программа дисциплины**  
Квантовая теория поля БЗ.ДВ.7

Направление подготовки: 011200.62 - Физика

Профиль подготовки: не предусмотрено

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

**Автор(ы):**

Аминова А.В.

**Рецензент(ы):**

Попов А.А.

**СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий(ая) кафедрой: Сушков С. В.

Протокол заседания кафедры No \_\_\_\_ от "\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Учебно-методическая комиссия Института физики:

Протокол заседания УМК No \_\_\_\_ от "\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Регистрационный No

Казань  
2015

## Содержание

1. Цели освоения дисциплины
2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля
4. Структура и содержание дисциплины/ модуля
5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения
6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов
7. Литература
8. Интернет-ресурсы
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины/модуля согласно утвержденному учебному плану

Программу дисциплины разработал(а)(и) профессор, д.н. (профессор) Аминова А.В. Кафедра теории относительности и гравитации Отделение физики, Asya.Aminova@kpfu.ru

### 1. Цели освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины "Квантовая теория поля" (Б.3.ДВ.7.4) является изучение основ теории релятивистских квантованных полей.

### 2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы высшего профессионального образования

Данная учебная дисциплина включена в раздел "Б3.ДВ.7 Профессиональный" основной образовательной программы 011200.62 Физика и относится к дисциплинам по выбору. Осваивается на 4 курсе, 7, 8 семестры.

Дисциплина Б.3.ДВ.7.4 "Квантовая теория поля" является вариативной частью профессионального цикла дисциплин (блок Б.3) для бакалавров по направлению подготовки 011200 "Физика", профиль "Фундаментальная физика". Обучающийся должен владеть знаниями и умениями, полученными при изучении дисциплин математического и естественнонаучного цикла (блок Б.2), а также базовой части профессионального цикла (модуль "Теоретическая физика") и дисциплин Б.3.ДВ.1 "Специальная теория относительности", "Теория спиноров" и Б.3.ДВ.4.5 "Теория групп Ли". Освоение дисциплины Б.3.ДВ.7.4 "Квантовая теория поля" необходимо как предшествующее для изучения следующих дисциплин: ДН(М).Р.2 "Физика высоких энергий и космология", ДН(М).В.1.2 "Калибровочные поля" и ЕН.В.2 "Метод квантовой теории поля в статистической физике".

### 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОК-1 (общекультурные компетенции)	способностью использовать в познавательной и профессиональной деятельности базовые знания в области математики и естественных наук
ОК-3 (общекультурные компетенции)	способностью приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии
ПК-1 (профессиональные компетенции)	способностью использовать базовые теоретические знания для решения профессиональных задач
ПК-10 (профессиональные компетенции)	способностью понимать и излагать получаемую информацию и представлять результаты физических исследований
ПК-2 (профессиональные компетенции)	способностью применять на практике базовые профессиональные навыки
ПК-4 (профессиональные компетенции)	способностью использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин (в соответствии с профилем подготовки)
ПК-5 (профессиональные компетенции)	способностью применять на практике базовые общепрофессиональные знания теории и методов физических исследований (в соответствии с профилем подготовки)

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

основные постулаты, лежащие в основе релятивистской теории квантованных полей, технику квантования свободных скалярных, электромагнитного и спинорного свободных полей, основные понятия теории взаимодействующих полей, общую теорию матрицы рассеяния и основы аппарата теории возмущений, правила Фейнмана для вычисления матричных элементов матрицы рассеяния, формулы для вероятностей процессов рассеяния и эффективных сечений;

2. должен уметь:

понимать особенности квантовых процессов рассеяния элементарных частиц; понимать проблему устранения расходимостей из S-матрицы, иметь представление о способах регуляризации.

3. должен владеть:

техникой вычисления причинных функций Грина различных полей и диаграммной техникой Фейнмана;

4. должен демонстрировать способность и готовность:

применять полученные знания для решения конкретных физических задач

#### 4. Структура и содержание дисциплины/ модуля

Общая трудоемкость дисциплины составляет 7 зачетных(ые) единиц(ы) 252 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины зачет в 7 семестре; экзамен в 8 семестре.

Суммарно по дисциплине можно получить 100 баллов, из них текущая работа оценивается в 50 баллов, итоговая форма контроля - в 50 баллов. Минимальное количество для допуска к зачету 28 баллов.

86 баллов и более - "отлично" (отл.);

71-85 баллов - "хорошо" (хор.);

55-70 баллов - "удовлетворительно" (удов.);

54 балла и менее - "неудовлетворительно" (неуд.).

#### 4.1 Структура и содержание аудиторной работы по дисциплине/ модулю

##### Тематический план дисциплины/модуля

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
1.	Тема 1. Классическая теория свободных полей	7	1 - 9	18	18	0	устный опрос
2.	Тема 2. Квантовая теория свободных полей	7	10 - 18	18	18	0	устный опрос
3.	Тема 3. Матрица рассеяния.	8	1 - 9	14	15	0	устный опрос
4.	Тема 4. Устранение расходимостей из S-матрицы.	8	10 - 17	14	15	0	устный опрос
	Тема . Итоговая форма контроля	7		0	0	0	зачет

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
	Тема . Итоговая форма контроля	8		0	0	0	экзамен
	Итого			64	66	0	

## 4.2 Содержание дисциплины

### Тема 1. Классическая теория свободных полей

#### *лекционное занятие (18 часа(ов)):*

Классические поля: лагранжев формализм, уравнения движения. Теорема Нетер. Сохраняющиеся величины. Симметрии и законы сохранения. Тензоры энергии-импульса, момента импульса, орбитального и спинового моментов. Калибровочные преобразования. Заряд и вектор тока. Действительное и комплексное скалярные поля: лагранжев формализм, уравнения Клейна-Гордона, импульсное представление, положительно- и отрицательно-частотные составляющие. Электромагнитное поле: градиентное преобразование, условие Лоренца, лагранжев формализм, поперечные, продольные и временные составляющие, спин. Спинорное поле: факторизация оператора Клейна-Гордона, матрицы Дирака, лагранжев формализм, уравнение Дирака, матричный тензор спина, импульсное представление, спин. Спинорное поле с нулевой массой: уравнения Вейля, спиральность.

#### *практическое занятие (18 часа(ов)):*

Решение задач по теме: Варьирование действия. Уравнения поля. Уравнения движения. Вычисление тензоров энергии-импульса, момента импульса, орбитального и спинового моментов, заряда и вектора тока для различных полей (действительное и комплексное скалярные поля, электромагнитное поле, спинорное поле). Установление различных свойств тензора энергии импульса/момента.

### Тема 2. Квантовая теория свободных полей

#### *лекционное занятие (18 часа(ов)):*

Квантовая теория свободных полей Основные принципы квантовой теории, задание квантовополевой системы унитарным представлением группы Пуанкаре в гильбертовом пространстве состояний. Основной постулат квантования физических полей. Физический смысл положительно- и отрицательно-частотных составляющих. Установление перестановочных соотношений. Перестановочные соотношения Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна. Зарядовое сопряжение. Теорема Паули. Квантование свободного скалярного поля. Квантование свободного электромагнитного поля. Метод Гупты-Блейлера. Индефинитная метрика. Псевдосфотонный вакуум. Квантование спинорного поля. Принцип Паули. Функции Грина. Причинные функции Грина скалярного, электромагнитного и спинорного полей. Нормальное произведение операторов. Теорема Вика для нормальных произведений.

#### *практическое занятие (18 часа(ов)):*

Решение задач по теме: Получение коммутационных соотношений для векторного, скалярного полей. Свойства операторов  $\psi^{\dagger}\psi$ . Построение лагранжианов взаимодействия, содержащие минимальные степени полей и не более одной производной для скалярного и спинорного поля, псевдоскалярного и спинорно, спинорного и векторного, т.д. Построение изотопически инвариантных лагранжианов взаимодействия для различных полей. Диагонализация лагранжиана, каноническое квантование.

### Тема 3. Матрица рассеяния.

#### *лекционное занятие (14 часа(ов)):*

Матрица рассеяния. Лагранжиан взаимодействия и S-матрица. Хронологическое спаривание. Теорема Вика для хронологических произведений. Взаимодействие электромагнитного и спинорного электрон-позитронного полей. Диаграммы Фейнмана. Вероятности процессов рассеяния и эффективные сечения. Примеры расчета процессов второго порядка. Комптоновское рассеяние. Формула Клейна-Нишины. Аннигиляция электрон-позитронной пары. Вычисление матричных элементов матрицы рассеяния. Правила соответствия Фейнмана в импульсном представлении. Рассеяние внешними полями.

**практическое занятие (15 часа(ов)):**

Решение задач по теме: Теорема Вика. Построение хронологического произведения  $T(L(x) L(y))$  в нормальной форме для различных лагранжианов. Правила Фейнмана. Получения формулы дифференциального сечения упругого рассеяния частиц, формулу вероятностей процессов распада частицы на две и три и время жизни исходной частицы. Фейнмановские интегралы

**Тема 4. Устранение расходимостей из S-матрицы.**

**лекционное занятие (14 часа(ов)):**

Устранение расходимостей из S-матрицы. Регуляризация Паули-Вилларса. Эффективный лагранжиан взаимодействия. Контрчлены. Общие правила устранения расходимостей. Индекс и степень расходимости диаграммы. Классификация ренормируемости теорий. 8 лекция 3 Общие правила устранения расходимостей. Индекс и степень расходимости диаграммы. Классификация ренормируемости теорий. Общие правила устранения расходимостей. Индекс и степень расходимости диаграммы. Классификация ренормируемости теорий. Типы расходящихся диаграмм в спинорной электродинамике.

**практическое занятие (15 часа(ов)):**

Нахождение сечения различных процессов в теории с лагранжианом взаимодействия.

**4.3 Структура и содержание самостоятельной работы дисциплины (модуля)**

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
1.	Тема 1. Классическая теория свободных полей	7	1 - 9	подготовка к устному опросу	18	устный опрос
2.	Тема 2. Квантовая теория свободных полей	7	10 - 18	подготовка к устному опросу	18	устный опрос
3.	Тема 3. Матрица рассеяния.	8	1 - 9	подготовка к устному опросу	25	устный опрос
4.	Тема 4. Устранение расходимостей из S-матрицы.	8	10 - 17	подготовка к устному опросу	25	устный опрос
	Итого				86	

**5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения**

экскурсий и практических занятий, организованных по стандартной технологии в интерактивной форме с живым диалогом между преподавателем и студентом.

**6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов**

**Тема 1. Классическая теория свободных полей**

устный опрос , примерные вопросы:

Классические поля: лагранжев формализм, уравнения движения. Теорема Нетер. Сохраняющиеся величины. Симметрии и законы сохранения. Тензоры энергии-импульса, момента импульса, орбитального и спинового моментов. Калибровочные преобразования. Заряд и вектор тока. Действительное и комплексное скалярные поля: лагранжев формализм, уравнения Клейна-Гордона, импульсное представление, положительно- и отрицательно-частотные составляющие. Электромагнитное поле: градиентное преобразование, условие Лоренца, лагранжев формализм, поперечные, продольные и временные составляющие, спин. Спинорное поле: факторизация оператора Клейна-Гордона, матрицы Дирака, лагранжев формализм, уравнение Дирака, матричный тензор спина, импульсное представление, спин. Спинорное поле с нулевой массой: уравнения Вейля, спиральность. Компетенции ПК-1, ПК-2, ПК-4, ОК-1, ОК-3.

## **Тема 2. Квантовая теория свободных полей**

устный опрос , примерные вопросы:

Квантовая теория свободных полей Основные принципы квантовой теории, задание квантовополевой системы унитарным представлением группы Пуанкаре в гильбертовом пространстве состояний. Основной постулат квантования физических полей. Физический смысл положительно- и отрицательно-частотных составляющих. Установление перестановочных соотношений. Перестановочные соотношения Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна. Зарядовое сопряжение. Теорема Паули. Квантование свободного скалярного поля. Квантование свободного электромагнитного поля. Метод Гупты-Блейлера. Индефинитная метрика. Псевдофотонный вакуум. Квантование спинорного поля. Принцип Паули. Функции Грина. Причинные функции Грина скалярного, электромагнитного и спинорного полей. Нормальное произведение операторов. Теорема Вика для нормальных произведений. Компетенции ПК-1, ПК-2, ПК-4, ОК-1, ОК-3.

## **Тема 3. Матрица рассеяния.**

устный опрос , примерные вопросы:

Матрица рассеяния. Лагранжиан взаимодействия и S-матрица. Хронологическое спаривание. Теорема Вика для хронологических произведений. Взаимодействие электромагнитного и спинорного электрон-позитронного полей. Диаграммы Фейнмана. Вероятности процессов рассеяния и эффективные сечения. Примеры расчета процессов второго порядка. Комптоновское рассеяние. Формула Клейна-Нишины. Аннигиляция электрон-позитронной пары. Вычисление матричных элементов матрицы рассеяния. Правила соответствия Фейнмана в импульсном представлении. Рассеяние внешними полями. Компетенции ПК-1, ПК-2, ПК-4, ОК-1, ОК-3.

## **Тема 4. Устранение расходимостей из S-матрицы.**

устный опрос , примерные вопросы:

Устранение расходимостей из S-матрицы. Регуляризация Паули-Вилларса. Эффективный лагранжиан взаимодействия. Контрчлены. Общие правила устранения расходимостей. Индекс и степень расходимости диаграммы. Классификация ренормируемости теорий. Общие правила устранения расходимостей. Индекс и степень расходимости диаграммы. Классификация ренормируемости теорий. Общие правила устранения расходимостей. Индекс и степень расходимости диаграммы. Классификация ренормируемости теорий. Типы расходящихся диаграмм в спинорной электродинамике. Компетенции ПК-1, ПК-2, ПК-4, ОК-1, ОК-3.

## **Тема . Итоговая форма контроля**

## **Тема . Итоговая форма контроля**

Примерные вопросы к зачету и экзамену:

**БИЛЕТЫ К ЭКЗАМЕНАМ/ЗАЧЕТАМ**

Билет 1.

1. Классические поля: лагранжев формализм, уравнения движения.
2. Принцип Паули.

Билет 2.

1. Теорема Нётер. Сохраняющиеся величины.

2. Функции Грина.

Билет 3.

1. Симметрии и законы сохранения.

2. Причинные функции Грина скалярного, электромагнитного и спинорного полей.

Билет 4.

1. Тензоры энергии-импульса и момента импульса.

2. Теорема Вика для нормальных произведений.

Билет 5.

1. Тензоры орбитального и спинового моментов.

2. Лагранжиан взаимодействия и S-матрица.

Билет 6.

1. Калибровочные преобразования. Заряд и вектор тока.

2. Хронологическое спаривание.

Билет 7.

1. Действительное скалярное поле: лагранжев формализм, уравнения Клейна-Гордона.

2. Теорема Вика для хронологических произведений.

Билет 8.

1. Комплексное скалярное поле: лагранжев формализм, уравнения Клейна-Гордона.

2. Взаимодействие электромагнитного и спинорного электрон-позитронного полей.

Билет 9.

1. Импульсное представление, положительно- и отрицательно-частотные составляющие.

2. Диаграммы Фейнмана.

Билет 10.

1. Электромагнитное поле: лагранжев формализм, поперечные, продольные и временные составляющие, спин.

2. Вероятности процессов рассеяния и эффективные сечения.

Билет 11.

1. Факторизация оператора Клейна-Гордона, матрицы Дирака.

2. Комптоновское рассеяние.

Билет 12.

1. Уравнение Дирака.

2. Формула Клейна-Нишины.

Билет 13.

1. Спинорное поле: матричный тензор спина, импульсное представление, спин.

2. Аннигиляция электрон-позитронной пары.

Билет 14.

1. Спинорное поле с нулевой массой. Уравнения Вейля.

2. Вычисление матричных элементов матрицы рассеяния.

Билет 15.

1. Спиральность.

2. Правила соответствия Фейнмана в импульсном представлении.

Билет 16.

1. Основные принципы квантовой теории.



## 2. Рассеяние внешними полями.

Билет 17.

1. Основной постулат квантования физических полей.
2. Устранение расходимостей из  $S$ -матрицы.

Билет 18.

1. Физический смысл положительно- и отрицательно-частотных составляющих.
2. Эффективный лагранжиан взаимодействия.

Билет 19.

1. Установление перестановочных соотношений.
2. Контрчлены.

Билет 20.

1. Перестановочные соотношения Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна.
2. Общие правила устранения расходимостей из  $S$ -матрицы.

Билет 21.

1. Зарядовое сопряжение. Теорема Паули.
2. Индекс расходимости диаграммы.

Билет 22.

1. Квантование свободного скалярного поля.
2. Классификация ренормируемости теорий.

Билет 23.

1. Квантование свободного электромагнитного поля. Индефинитная метрика.
2. Степень расходимости диаграммы.

Билет 24.

1. Метод Гупты-Блейлера. Псевдофотонный вакуум.
2. Регуляризация Паули-Вилларса.

Билет 25.

1. Квантование спинорного поля.
2. Типы расходящихся диаграмм в спинорной электродинамике.

### 7.1. Основная литература:

1. Бернштейн, Лейтес Д.А., Шандер, Семинар по суперсимметриям, Т. 1. Алгебра и анализ. Основные факты, Под ред. Д. А. Лейтеса и с дополнениями В. В. Молоткова - М.: МЦНМО, 2011. - 410 с.

[http://rffi.molnet.ru/rffi/ru/books/o\\_491623](http://rffi.molnet.ru/rffi/ru/books/o_491623) (сайт РФФИ)

2. Цвелик А.М. Квантовая теория поля в физике конденсированного состояния. - М.: Физматлит, 2004. - 320 с.

[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=2714](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=2714) (издательство "Лань")

3. Элементы теории поля: вариационные симметрии и геометрические инварианты / Ковалёв В.А., Радаев Ю.Н., ФИЗМАТЛИТ, 2009, 160 с.

[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=2213](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=2213)

### 7.2. Дополнительная литература:

1. Инстантоны, струны и конформная теория поля. Под ред. Белавина А.А. - М.: Физматлит, 2002. - 448 с.

[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=2110](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=2110)

2. Теория гравитационного поля / А. А. Логунов ; РАН, Отд-ние ядер. физики .? Издание 2-е, дополненное .? Москва : Наука, 2001 .? 238с. ? Библиогр.: с.236-238 .? ISBN 5-02-002741-3. 5 экз.

### 7.3. Интернет-ресурсы:

Архив электронных публикаций научных статей - <http://arxiv.org/>

Библиотека EqWorld МИР МАТЕМАТИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ - <http://eqworld.ipmnet.ru/indexr.htm>

Издательство - <http://e.lanbook.com/>

Сайт кафедры теории относительности и гравитации КФУ -

<http://kpfu.ru/physics/struktura/kafedry/kafedra-teorii-otnositelnosti-i-gravitacii/uchebnaya-rabota/uchebnye>

Электронная библиотека механико-математического факультета Московского государственного университета - <http://lib.mexmat.ru/allbooks.php>

Электронно-библиотечная система - <http://www.knigafund.ru/>

### 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины(модуля)

Освоение дисциплины "Квантовая теория поля" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "ZNANIUM.COM", доступ к которой предоставлен студентам. ЭБС "ZNANIUM.COM" содержит произведения крупнейших российских учёных, руководителей государственных органов, преподавателей ведущих вузов страны, высококвалифицированных специалистов в различных сферах бизнеса. Фонд библиотеки сформирован с учетом всех изменений образовательных стандартов и включает учебники, учебные пособия, УМК, монографии, авторефераты, диссертации, энциклопедии, словари и справочники, законодательно-нормативные документы, специальные периодические издания и издания, выпускаемые издательствами вузов. В настоящее время ЭБС ZNANIUM.COM соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) нового поколения.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань", доступ к которой предоставлен студентам. ЭБС Издательства "Лань" включает в себя электронные версии книг издательства "Лань" и других ведущих издательств учебной литературы, а также электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. ЭБС Издательства "Лань" обеспечивает доступ к научной, учебной литературе и научным периодическим изданиям по максимальному количеству профильных направлений с соблюдением всех авторских и смежных прав.

Курс лекций и практических занятий, организованных по стандартной технологии в интерактивной форме с живым диалогом между преподавателем и студентом.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 011200.62 "Физика" и профилю подготовки не предусмотрено .

Автор(ы):

Аминова А.В. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Рецензент(ы):

Попов А.А. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.