

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



**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор  
по образовательной деятельности КФУ  
Проф. Таюрский Д.А.

\_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Программа дисциплины**

Теория поля Б1.В.ДВ.11

Направление подготовки: 03.03.02 - Физика

Профиль подготовки: не предусмотрено

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

**Автор(ы):**

Балакин А.Б.

**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  
2019

## 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) Балакин А.Б. Кафедра теории относительности и гравитации Отделение физики, Alexander.Balakin@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 "Б1.В.ДВ.11 Дисциплины (модули)" основной образовательной программы 03.03.02 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
опк-2	способностью использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов математики, создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей
ПК-1 (профессиональные компетенции)	способностью использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин
ПК-2 (профессиональные компетенции)	способностью проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта
ПК-4 (профессиональные компетенции)	способностью применять на практике профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин

В результате освоения дисциплины студент:

#### 1. должен знать:

основные постулаты, лежащие в основе релятивистской теории скалярных, псевдоскалярных, массивных векторных, электромагнитных, спинорных и калибровочных полей, основные понятия, технику варьирования Лагранжианов свободных и взаимодействующих полей.

2. должен уметь:

пользоваться ковариантными методами теоретической физики, методами римановой геометрии и основами теории групп.

3. должен владеть:

техникой вычисления ковариантных производных физических полей, техникой варьирования Лагранжианов полей произвольной структуры

4. должен демонстрировать способность и готовность:

применять полученные знания для решения конкретных физических задач

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

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных(ые) единиц(ы) 108 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины: отсутствует в 7 семестре; зачет 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. Ковариантная теория скалярного, псевдоскалярного, массивного векторного и электромагнитного полей	7		9	9	0	Устный опрос
2.	Тема 2. Ковариантная электродинамика релятивистских сплошных сред, аксионная электродинамика	7		9	9	0	Письменное домашнее задание
3.	Тема 3. Ковариантная теория спинорного и калибровочного полей	8		10	18	0	Контрольная работа
	Тема . Итоговая форма контроля	8		0	0	0	Зачет
	Итого			28	36	0	

#### 4.2 Содержание дисциплины

## **Тема 1. Ковариантная теория скалярного, псевдоскалярного, массивного векторного и электромагнитного полей**

### **лекционное занятие (9 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.

### **практическое занятие (9 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. Ковариантная электродинамика релятивистских сплошных сред, аксионная электродинамика**

### **лекционное занятие (9 часа(ов)):**

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. Калибровочные поля: теория унитарной симметрии и группы Ли; генераторы унитарной группы, матрицы Паули и Гелл-Манна; унитарные тензоры, компенсирующие поля, ковариантные производные калибровочных полей.

### **практическое занятие (9 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 спинорного, спинорного и векторного, т.д. Построение изотопически инвариантных лагранжианов взаимодействия для различных полей. Диагонализация лагранжиана, каноническое квантование.

## **Тема 3. Ковариантная теория спинорного и калибровочного полей**

### **лекционное занятие (10 часа(ов)):**

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. Калибровочные поля: теория унитарной симметрии и группы Ли; генераторы унитарной группы, матрицы Паули и Гелл-Манна; унитарные тензоры, компенсирующие поля, ковариантные производные калибровочных полей.

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

Решение задач по теме: факторизация оператора Клейна-Гордона, матрицы Дирака, лагранжев формализм, уравнение Дирака, матричный тензор спина, импульсное представление, спин. Спинорное поле с нулевой массой: уравнения Вейля, спиральность. теория унитарной симметрии и группы Ли; генераторы унитарной группы, матрицы Паули и Гелл-Манна; унитарные тензоры, компенсирующие поля, ковариантные производные калибровочных полей.

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

№	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
1.	Тема 1. Ковариантная теория скалярного, псевдоскалярного, массивного векторного и электромагнитного полей	7		подготовка к устному опросу	9	устный опрос
2.	Тема 2. Ковариантная электродинамика релятивистских сплошных сред, аксионная электродинамика	7		подготовка домашнего задания	9	Письменное домашнее задание
3.	Тема 3. Ковариантная теория спинорного и калибровочного полей	8		подготовка к контрольной работе	26	Контрольная работа
	Итого				44	

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

лекций 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. Ковариантная теория скалярного, псевдоскалярного, массивного векторного и электромагнитного 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.

#### Тема 2. Ковариантная электродинамика релятивистских сплошных сред, аксионная электродинамика

Письменное домашнее задание , 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. Скалярное и псевдоскалярное поля: канонический и эффективный тензоры энергии-импульса; приложения к Физике Космоса. Ковариантная теория электромагнитного поля: диэлектрическая и магнитная проницаемость релятивистских анизотропных неравномерно и неоднородно движущихся сред; приложения к Физике Космоса.

### **Тема 3. Ковариантная теория спинорного и калибровочного полей**

Контрольная работа , примерные вопросы:

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. Ковариантное обобщение теории Дирака. Калибровочные поля: теория унитарной симметрии и группы Ли; генераторы унитарной группы, матрицы Паули и Гелл-Манна; унитарные тензоры, компенсирующие поля, ковариантные производные калибровочных полей.

### **Итоговая форма контроля**

зачет (в 8 семестре)

Примерные вопросы к зачету:

#### **БИЛЕТЫ К ЗАЧЕТУ**

Билет 1.

1. Классические поля: Лагранжев формализм, уравнения движения.
2. Матрицы Гелл-Манна.

Билет 2.

1. Теорема Нётер. Сохраняющиеся величины.
2. Ковариантная производная спинора.

Билет 3.

1. Симметрии и законы сохранения.
2. Тензор энергии-импульса скалярного поля.

Билет 4.

1. Тензор энергии-импульса электромагнитного поля.
2. Уравнения аксионной электродинамики.

Билет 5.

1. Тензоры орбитального и спинового моментов.
2. Калибровочные преобразования. Заряд и вектор тока.

Билет 6.

1. Действительное и комплексное скалярное поле: Лагранжев формализм, уравнения Клейна-Гордона.
2. Электромагнитное поле в вакууме: Лагранжев формализм, поперечные, продольные составляющие, спин.

Билет 7.

1. Факторизация оператора Клейна-Гордона, матрицы Дирака.
2. Уравнение Дирака.

Билет 8.

1. Спинорное поле: матричный тензор спина, импульсное представление, спин.
2. Спинорное поле с нулевой массой. Уравнения Вейля.

Билет 9.

1. Оптическая активность аксионной темной материи.
2. Фундаментальное и присоединенное представления в теории унитарной симметрии.

Билет 10.

1. Тензорный анализ неабелевых калибровочных полей: понятие о ковариантной производной.
2. Динамо-оптическая активность неравномерно и неоднородно движущихся сред.

### 7.1. Основная литература:

Степаньянц, К.В. Классическая теория поля [Электронный ресурс] : учеб. пособие ? Электрон. дан. ? Москва : Физматлит, 2009. ? 544 с. ? Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/2328>. ? Загл. с экрана.

Березин, Ф.А. Введение в суперанализ [Электронный ресурс] ? Электрон. дан. ? Москва : МЦНМО, 2013. ? 432 с. ? Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/56394>. ? Загл. с экрана.

Ковалёв, В.А. Элементы теории поля: вариационные симметрии и геометрические инварианты [Электронный ресурс] : рук. / В.А. Ковалёв, Ю.Н. Радаев. ? Электрон. дан. ? Москва : Физматлит, 2009. ? 160 с. ? Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/2213>. ? Загл. с экрана.

Вайнберг, С. Квантовая теория поля. Т.1. Общая теория [Электронный ресурс] ? Электрон. дан. ? Москва : Физматлит, 2015. ? 648 с. ? Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/91164>. ? Загл. с экрана.

### 7.2. Дополнительная литература:

Белавин, А.А. Инстантоны, струны и конформная теория поля [Электронный ресурс] : сб. науч. тр. ? Электрон. дан. ? Москва : Физматлит, 2002. ? 448 с. ? Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/2110>. ? Загл. с экрана. Электронно-библиотечная система Издательства Лань

Цвелик, А.М. Квантовая теория поля в физике конденсированного состояния [Электронный ресурс] ? Электрон. дан. ? Москва : Физматлит, 2004. ? 320 с. ? Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/2714>. ? Загл. с экрана. Электронно-библиотечная система Издательства Лань

### 7.3. Интернет-ресурсы:

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

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://rfi.molnet.ru/rffi/ru/books/o\\_491623](http://rfi.molnet.ru/rffi/ru/books/o_491623)

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

Сайт кафедры теории относительности и гравитации -

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

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 "Теория поля" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Мультимедийная аудитория, вместимостью более 60 человек. Мультимедийная аудитория состоит из интегрированных инженерных систем с единой системой управления, оснащенная современными средствами воспроизведения и визуализации любой видео и аудио информации, получения и передачи электронных документов. Типовая комплектация мультимедийной аудитории состоит из: мультимедийного проектора, автоматизированного проекционного экрана, акустической системы, а также интерактивной трибуны преподавателя, включающей тач-скрин монитор с диагональю не менее 22 дюймов, персональный компьютер (с техническими характеристиками не ниже Intel Core i3-2100, DDR3 4096Mb, 500Gb), конференц-микрофон, беспроводной микрофон, блок управления оборудованием, интерфейсы подключения: USB, audio, HDMI. Интерактивная трибуна преподавателя является ключевым элементом управления, объединяющим все устройства в единую систему, и служит полноценным рабочим местом преподавателя. Преподаватель имеет возможность легко управлять всей системой, не отходя от трибуны, что позволяет проводить лекции, практические занятия, презентации, вебинары, конференции и другие виды аудиторной нагрузки обучающихся в удобной и доступной для них форме с применением современных интерактивных средств обучения, в том числе с использованием в процессе обучения всех корпоративных ресурсов. Мультимедийная аудитория также оснащена широкополосным доступом в сеть интернет. Компьютерное оборудование имеет соответствующее лицензионное программное обеспечение.

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 03.03.02 "Физика" и профилю подготовки не предусмотрено .

Автор(ы):

Балакин А.Б. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Рецензент(ы):

Попов А.А. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.