

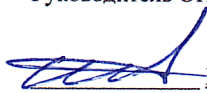


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Дальневосточный федеральный университет»  
(ДВФУ)

**ШКОЛА ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**


«СОГЛАСОВАНО»

Руководитель ОП

  
Ширмовский С.Э.  
(подпись) (Ф.И.О. рук. ОП)  
«18» сентября 2017 г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Заведующий кафедрой  
теоретической и ядерной физики

  
Ширмовский С.Э.  
(подпись) (Ф.И.О. зав. каф.)  
«18» сентября 2017 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

«Квантовая электродинамика»

Направление подготовки – 03.03.02 Физика

Форма подготовки очная

курс 4 семестр 8

лекции 32 час.

практические занятия не предусмотрены

лабораторные работы 40 час.

в том числе с использованием МАО лек. 0 /пр. 0 /лаб. 16 час.

в том числе в электронной форме лек. 0 /пр. 0 /лаб. 0 час.

всего часов аудиторной нагрузки 72 час.

в том числе с использованием МАО 16 час.

в том числе в электронной форме 0 час.

самостоятельная работа 72 час.

в том числе на подготовку к экзамену 0 час.

контрольные работы не предусмотрены

курсовая работа / курсовой проект не предусмотрены

зачет 8 семестр

экзамен не предусмотрен

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями образовательного стандарта, самостоятельно установленного ДВФУ, утвержденного приказом ректора от 07.07.2015 № 1282.

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры теоретической и ядерной физики, протокол № 1 от 18.09.2017 г.

Заведующий кафедрой: к. ф.-м. н., доцент Ширмовский С.Э.

Составитель (ли): к. ф.-м. н., доцент Шульга Д.В.

**Оборотная сторона титульного листа РПУД**

**I. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:**

Протокол от «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

**II. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:**

Протокол от «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

## ABSTRACT

**Bachelor's degree in 03.03.02 "Physics".**

**Study profile "Physics".**

**Course title: "Quantum electrodynamics".**

**Variable part of Block 1, 4 credits.**

**Instructor: Shulga D. V.**

**At the beginning of the course a student should be able to:**

OPC-1 ability to use in professional activity basic natural-scientific knowledge, including knowledge of a subject and objects of study, research methods, modern concepts, achievements and restrictions of natural Sciences (first of all chemistry, biology, ecology, earth and human Sciences).

OPC-2 Ability to use in professional activity basic knowledge of fundamental sections of mathematics, to create mathematical models of standard professional tasks and to interpret the received results taking into account limits of applicability of models.

**Learning outcomes:**

PC-3 Ability to operate and maintain state-of-the-art physical hardware and equipment.

PC-4 Ability to understand and present the information received and to present the results of physical research

**Course description:**

It is known that quantum electrodynamics is a model of construction of the physical quantum field theory in which the accuracy of agreement of the theory with experiment, unprecedented for science, is achieved. At present, QED is part of the standard model of elementary particles. The basis of the course is the presentation of a set of standard methods of calculation of perturbation theory in quantum field theory on the example of QED.

**Main course literature:**

1. Vajnberg, S. Kvantovaya teoriya polya. T.1. Obshchaya teoriya [Quantum field theory. Vol.1. General theory] [EHlektronnyj resurs] / S. Vajnberg ; pod red. V.CH. ZHukovskogo ; per. s angl. V.CH. ZHukovskogo. — EHlektron. dan. — Moskva : Fizmatlit, 2015. — 648 s. (rus) — Access: <https://e.lanbook.com/book/91164>

2. Landau, L.D. Teoreticheskaya fizika. T.4 Kvantovaya ehlektrodinamika [Theoretical physics. T. 4 Quantum electrodynamics] [EHlektronnyj resurs] : uchebnoe posobie / L.D. Landau, E.M. Lifshic. — EHlektron. dan. — Moskva : Fizmatlit, 2006. — 720 s. (rus) — Access: <https://e.lanbook.com/book/2237>

3. Vergeles, S.N. Lekcii po kvantovoj ehlektrodinamike [Lectures on quantum electrodynamics] [EHlektronnyj resurs] : uchebnoe posobie / S.N. Vergeles. — EHlektron. dan. — Moskva : Fizmatlit, 2005. — 248 s. (rus) — Access: <https://e.lanbook.com/book/48241>

**Form of final control:** pass-fail exam.

## **Аннотация к рабочей программе дисциплины «Квантовая электродинамика»**

Курс «Квантовая электродинамика» предназначен для студентов очной формы обучения направления подготовки 03.03.02 «Физика».

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 4 зачетные единицы, 144 часа. Учебным планом предусмотрены лекционные занятия (32 часа), практические занятия (40 часов), самостоятельная работа (72 часа). Дисциплина реализуется на 4 курсе в 8 семестре.

Дисциплина «Квантовая электродинамика» относится к вариативной части профессионального цикла дисциплин (Б1.В.ДВ.7.1).

Изучение данной дисциплины базируется на следующих дисциплинах: «Математический анализ», «Квантовая механика», «Методы математической физики», «Дифференциальные и интегральные уравнения, вариационное исчисление».

Известно, что квантовая электродинамика является образцом построения физической квантово-полевой теории, в которой достигнута беспрецедентная для науки точность согласия теории с экспериментом. В настоящее время КЭД является частью Стандартной Модели элементарных частиц. Основу курса составляет изложение комплекса стандартных методов расчета по теории возмущений в квантовой теории поля на примере КЭД.

**Цель** изучения дисциплины – приобретение систематизированных знаний по основам квантовой теории поля.

### **Задачи:**

1. изучение основных принципов квантовой электродинамики;
2. освоение математического аппарата квантовой электродинамики;
3. изучение основных понятий и уравнений квантовой электродинамики;
4. приобретение навыков решения задач по квантовой электродинамике.

Для успешного изучения дисциплины «Квантовая электродинамика» у студентов должны быть сформированы следующие предварительные компетенции:

- ОПК-1 способность использовать в профессиональной деятельности базовые естественно-научные знания, включая знания о предмете и объектах изучения, методах исследования, современных концепциях, достижениях и ограничениях естественных наук (прежде всего химии, биологии, экологии, наук о земле и человеке);
- ОПК-2 способность использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов математики, создавать математические модели типовых профессиональных задач и

интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей.

В результате изучения данной дисциплины у студентов формируются следующие общекультурные/ общепрофессиональные/ профессиональные компетенции (элементы компетенций):

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
ПК-3 Способность эксплуатировать и обслуживать современную физическую аппаратуру и оборудование	Знает	теоретические основы квантовой электродинамики; основные физические системы и законы, описываемые квантовой теорией поля.
	Умеет	решать типовые задачи квантовой электродинамики.
	Владеет	точными и приближенными методами квантовой электродинамики.
ПК-4 Способность понимать и излагать получаемую информацию и представлять результаты физических исследований	Знает	предпосылки создания квантовой электродинамики; математический аппарат квантовой электродинамики; основные принципы квантовой электродинамики; основные уравнения квантовой электродинамики.
	Умеет	проводить численные расчеты соответствующих физических величин в общепринятых системах единиц; проводить численные расчеты соответствующих физических величин в общепринятых системах единиц.
	Владеет	навыками самостоятельной работы с учебной и научной литературой.

Для формирования вышеуказанных компетенций в рамках дисциплины «Квантовая электродинамика» применяются следующие методы активного/интерактивного обучения: обсуждение в группах, решение задач с обсуждением.

## I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА (32 часа)

### Раздел 1. Квантовая механика фотона (12 часов)

#### Тема 1. Уравнения Максвелла (2 часа)

Различные формы уравнений электромагнитного поля. Релятивистская инвариантность уравнений Максвелла. Группа Лоренца. Инверсия и обращение времени. Вариационный принцип. Тензор энергии-импульса поля. Тензор момента количества движения поля. Разложение потенциалов на плоские волны.

#### Тема 2. Волновая функция фотона (2 часа)

Уравнение Максвелла в пространстве волновых векторов. Волновая функция фотона в импульсном пространстве. Плоские волны.

Поляризация матрица плотности фотона. Невозможность введения волновой функции фотона в координатном представлении.

### **Тема 3. Момент количества движения фотона (2 часа)**

Оператор момента. Спиновые волновые функции фотона. Собственные функции оператора момента фотона. Коэффициенты векторного сложения. Продольный и поперечные шаровые векторы. Четность состояний фотона. Угловое распределение. Сферические электромагнитные волны.

### **Тема 4. Система двух фотонов (2 часа)**

Волновая функция двух фотонов в импульсном пространстве. Четные и нечетные состояния двух фотонов. Классификация состояний двух фотонов с определенным моментом.

### **Тема 5. Квантование электромагнитного поля (2 часа)**

Операторы испускания и поглощения фотона. Использование индефинитной метрики. Перестановочные соотношения для потенциалов и компонент электромагнитного поля.

### **Тема 6. Сингулярные функции, связанные с волновыми полями (2 часа)**

Вакуумные средние произведений операторов электромагнитного поля. Хронологическое и нормальное произведения операторов электромагнитных потенциалов. Функция Грина волнового уравнения. Сингулярные функции, связанные с волновым уравнением. Аналитические свойства сингулярных решений волновых уравнений.

## **Раздел 2. Релятивистская квантовая механика электрона (10 часов)**

### **Тема 1. Уравнение Дирака (2 часа)**

Спиноры. Уравнение Дирака для свободного электрона. Симметричная форма уравнения Дирака. Уравнение Дирака для электрона во внешнем электромагнитном поле. Уравнение непрерывности.

### **Тема 2. Свойства инвариантности уравнения Дирака (2 часа)**

Различные представления уравнения Дирака. Алгебра матриц Дирака. Вычисление следов матриц. Прямые произведения матриц. Преобразования Лоренца для биспинора. Пространственное отражение, обращение времени и зарядовое сопряжение. Ковариантные билинейные формы. Вариационный принцип для уравнений Дирака.

### **Тема 3. Свободный электрон (1 час)**

Решения с положительными и отрицательными частотами. Плоские волны. Поляризация состояния электрона. Поляризация матрица плотности электрона. Шаровые спиноры. Волновая функция свободного электрона с определенным моментом. Четность состояния. Разложение по сферическим волнам.

### **Тема 4. Движение электрона во внешнем поле (1 час)**

Разделение переменных в центральном поле. Сферически симметричная потенциальная яма. Движение электрона в кулоновском поле ядра. Волновые функции непрерывного спектра в кулоновском поле ядра. Электрон в постоянном и однородном магнитном поле.

#### **Тема 5. Рассеяние электронов (1 час)**

Расходящиеся и сходящиеся волны. Амплитуда и сечение рассеяния. Поляризация и азимутальная асимметрия. Борновское приближение. Рассеяние в кулоновском поле ядра.

#### **Тема 6. Предельные переходы к нерелятивистской квантовой механике и релятивистской классической механике (1 час)**

Уравнение Паули. Второе приближение. Переход к релятивистской классической механике.

#### **Тема 7. Релятивистски инвариантные уравнения полей (1 час)**

Конечномерные представления собственной группы Лоренца. Функция Лагранжа свободного поля. Тензор энергии-импульса, тензор моментов и вектор плотности тока. Масса и спин частицы. Неопределенный характер заряда при целом спине и энергии при полуцелом спине. Уравнения для частиц со спином нуль и единица. Уравнения для частиц с произвольным спином.

#### **Тема 8. Квантование электронно-позитронного поля (1 час)**

Условия квантования. Операторы испускания и поглощения электронов и позитронов. Антискоммутаторы электронного поля. Хронологическое и нормальное произведения операторов электронного поля. Связь спина со статистикой.

### **Раздел 3. Электромагнитное взаимодействие (10 часов)**

#### **Тема 1. Основные уравнения квантовой электродинамики (1 час)**

Система уравнений квантовой электродинамики в гейзенберговском представлении. Функция Лагранжа, тензор энергии-импульса и тензор моментов для взаимодействующих квантованных полей. Уравнения поля в форме коммутаторов. Стационарные состояния системы взаимодействующих полей. Представление взаимодействия. Представление взаимодействия в квантовой электродинамике.

#### **Тема 2. Матрица рассеяния (1 час)**

Проблема рассеяния частиц в квантовой электродинамике. Инвариантная теория возмущений. Матричные элементы операторов полей. Унитарность матрицы рассеяния. Представление матрицы рассеяния в виде суммы нормальных произведений. Функциональная форма представления матрицы рассеяния в виде N-упорядоченного оператора. Мюонный и адронный токи.



### **Тема 3. Графическое представление элементов матрицы рассеяния (1 час)**

Графическое представление нормальных произведений. Простейшие диаграммы. Импульсное представление. Теорема Фарри. Правила Фейнмана.

### **Тема 4. Вероятность и эффективное сечение (1 час)**

Амплитуда рассеяния и вероятность. Суммирование по состояниям поляризации электронов и фотонов. Эффективное сечение. Вероятность процессов рассеяния поляризованных частиц. Использование обозначений, соответствующих псевдоевклидовой метрике.

### **Тема 5. Свойства симметрии электромагнитного взаимодействия (1 час)**

Релятивистская инвариантность уравнений квантовой электродинамики. Инвариантность уравнений квантовой электродинамики относительно преобразования обращения времени. Инвариантность уравнений квантовой электродинамики относительно преобразования зарядового сопряжения. СРТ-теорема. Калибровочная инвариантность уравнений квантовой электродинамики.

### **Тема 6. Структура диаграмм матрицы рассеяния (1 час)**

Собственно энергетические и вершинные диаграммы. Эффективные линии. Уравнения Дайсона для функций Грина и графическое уравнение для вершинной функции.

### **Тема 7. Функции Грина взаимодействующих полей (1 час)**

Функции Грина как вакуумные средние. Следствия из условия Лоренца. Спектральное представление функций Грина. Уравнения для функций Грина в функциональных производных. Представление функций Грина в виде функциональных интегралов. Калибровочные преобразования функций Грина.

### **Тема 8. Перенормировка массы и заряда электрона (1 час)**

Перенормировка массы электрона. Физический заряд электрона. Перенормировка функций Грина и вершинной функции. Трехфотонная вершинная функция. Перенормировка элементов матрицы рассеяния.

### **Тема 9. Расходимости в матрице рассеяния и их устранение (1 час)**

Расходимости в интегральных выражениях, сопоставляемых неприводимым диаграммам. Введение граничного импульса. Регуляризация функций, соответствующих неприводимым диаграммам. Регуляризация функций, соответствующих приводимым диаграммам.

### **Тема 10. Асимптотические свойства функций Грина и границы применимости квантовой электродинамики (1 час)**

Структура функций Грина в области больших импульсов. Асимптотические выражения для функций Грина. Асимптотический

характер регуляризованных разложений матрицы рассеяния. Проблема замкнутости квантовой электродинамики.

## **II. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА**

### **Лабораторные занятия (40 часов)**

#### **Занятие 1. Излучение фотона (решение задач с обсуждением) (5 часов)**

Общее выражение для амплитуды излучения. Излучение электрического мультиполя. Излучение магнитного мультиполя. Излучение ядер. Правила отбора. Токи перехода в импульсном представлении. Угловое распределение и поляризация излучения. Фотоэффект.

#### **Занятие 2. Рассеяние фотона электроном (обсуждение в группах) (5 часов)**

Матричный элемент рассеяния. Применение законов сохранения. Дифференциальное сечение в случае неполяризованных частиц. Угловое распределение рассеянных фотонов. Полное сечение. Распределение электронов отдачи. Поляризационные эффекты. Рассеяние поляризованных фотонов неполяризованными электронами. Рассеяние поляризованными электронами и поляризация электронов отдачи.

#### **Занятие 3. Рассеяние фотона связанным электроном (5 часов)**

Дисперсионная формула. Резонансное рассеяние. Излучение двух фотонов.

#### **Занятие 4. Тормозное излучение (обсуждение в группах) (6 часов)**

Эффективное сечение тормозного излучения. Угловое распределение излучения в кулоновском поле. Поляризация излучения. Спектр излучения. Экранирование. Потеря энергии на излучение. Точная теория тормозного излучения в нерелятивистской области. Поправка к сечению тормозного излучения в борновском приближении при крайне релятивистских энергиях. Асимптотика волновой функции электрона в непрерывном спектре.

#### **Занятие 5. Излучение длинноволновых фотонов (4 часа)**

«Инфракрасная катастрофа». Сечение рассеяния электрона с излучением мягкого фотона. Исследование расходимости в области малых частот. Когерентные состояния поля излучения. Излучение мягких фотонов при произвольных столкновениях.

#### **Занятие 6. Образование и аннигиляция электронно-позитронных пар (5 часов)**

Образование электронно-позитронной пары фотоном в поле ядра. Точная теория образования пары фотоном в поле ядра вблизи порога. Поправка к сечению образования пары фотоном в поле ядра в борновском приближении при крайне релятивистских энергиях. Образование пары двумя фотонами. Превращение пары в два фотона. Поляризационные эффекты при

двухфотонной аннигиляции пар. Распад позитрония. Превращение пары в один фотон.

### **Занятие 7. Рассеяние электрона и позитрона электроном (5 часов)**

Рассеяние электрона электроном. Рассеяние позитрона электроном.

Рассеяние поляризованных электронов. Рассеяние мюона электроном.

Превращение электронной пары в мюонную пару.

### **Занятие 8. Запаздывающее взаимодействие зарядов (5 часов)**

Функция взаимодействия двух зарядов. Запаздывающие потенциалы.

Энергия взаимодействия двух электронов с точностью до  $v^2/c^2$ .

Взаимодействие электрона с позитроном. Позитроний.

## **III. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «Квантовая теория поля» представлено в Приложении 1 и включает в себя:

- план-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине, в том числе примерные нормы времени на выполнение по каждому заданию;
- характеристика заданий для самостоятельной работы студентов и методические рекомендации по их выполнению;
- требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы;
- критерии оценки выполнения самостоятельной работы.

## **IV. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА**

№ п/п	Контролируемые модули/ разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций		Оценочные средства - наименование	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
1	Раздел 1. Квантовая механика фотона	ПК-3, ПК-4	Знает Умеет Владеет	Работа на семинарских занятиях	Зачет, вопросы № 1 - 6
2	Раздел 2. Релятивистская квантовая механика электрона	ПК-3, ПК-4	Знает Умеет Владеет	Работа на семинарских занятиях	Зачет, вопросы № 7 - 14
3	Раздел 3. Электромагнитное взаимодействие	ПК-3, ПК-4	Знает Умеет Владеет	Работа на семинарских занятиях	Зачет, вопросы № 15 - 24

Контрольные и методические материалы, а также критерии и показатели необходимые для оценки знаний, умений, навыков и характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы представлены в Приложении 2.

## **V. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Основная литература**

*(электронные и печатные издания)*

1. Вайнберг, С. Квантовая теория поля. Т.1. Общая теория [Электронный ресурс] / С. Вайнберг; под ред. В.Ч. Жуковского ; пер. с англ. В.Ч. Жуковского. — Электрон. дан. — Москва: Физматлит, 2015. — 648 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/91164>

2. Ландау, Л.Д. Теоретическая физика. Т.4 Квантовая электродинамика [Электронный ресурс]: учебное пособие / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. — Электрон. дан. — Москва: Физматлит, 2006. — 720 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/2237>

3. Вергелес, С.Н. Лекции по квантовой электродинамике [Электронный ресурс]: учебное пособие / С.Н. Вергелес. — Электрон. дан. — Москва: Физматлит, 2005. — 248 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/48241>

4. Борчердс, Р. Е. Квантовая теория поля [Электронный ресурс] / Р. Е. Борчердс ; пер. А. Я. Мальцев. — Электрон. текстовые данные. — Москва, Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, Ижевский институт компьютерных исследований, 2006. — 96 с. — 978-5-93972-627-6. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/16540.html>

5. Цвелик, А.М. Квантовая теория поля в физике конденсированного состояния [Электронный ресурс] / А.М. Цвелик. — Электрон. дан. — Москва: Физматлит, 2004. — 320 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/2714>

6. Общие принципы квантовой теории поля [Электронный ресурс]: учебное пособие / Н.Н. Боголюбов [и др.]. — Электрон. дан. — Москва: Физматлит, 2006. — 657 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/48239>

7. Медведев Б.В. Начала теоретической физики. Механика, теория поля, Элементы квантовой механики. М.: Физматлит, 2007. - 600 с. [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=59454](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=59454)

**Дополнительная литература**  
(электронные и печатные издания)

1. Хенли Э., Тирринг В. Элементарная квантовая теория поля. М.: ИЛ, 1963. 315 с.
2. Бьёркен Дж. Д., Дрелл С.Д. Релятивистская квантовая теория. В 2-х т. Том 1. Релятивистская квантовая механика. М.: "Наука", 1978. — 295 с.
3. Бьёркен Дж. Д., Дрелл С.Д. Релятивистская квантовая теория. Том 2. Релятивистские квантовые поля. — М.: Наука, 1978. — 407 с.
4. Greiner W., Reinhardt J., Bromley D.A. Field Quantization. Springer, 1996. - 460 pages
5. Биленький С.М. Введение в диаграммную технику Фейнмана. М.: Атомиздат, 1971. - 215 с.
6. Райдер Л. Квантовая теория поля. Платон, – 509 с., 1998 г.
7. Займан. Дж. Современная квантовая теория. М.: Мир, 1971. 288 с.
8. Пескин М., Шредер Д. Введение в квантовую теорию поля. 2001. 784 с.
9. Боголюбов Н.Н., Ширков Д.В. Квантовые поля. Изд.3, дополн. 2005. 384 с.

**Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети  
«Интернет»**

1. <http://arxiv.org/archive/hep-th>
2. <http://pdg.lbl.gov/>
3. <http://plato.stanford.edu/entries/quantum-field-theory/>
4. [https://www.encyclopediaofmath.org/index.php/Quantum\\_field\\_theory](https://www.encyclopediaofmath.org/index.php/Quantum_field_theory)
5. [http://femto.com.ua/articles/part\\_1/1562.html](http://femto.com.ua/articles/part_1/1562.html)

**VI. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

Лекционные занятия ориентированы на освещение вводных тем в каждый раздел курса и призваны ориентировать студентов в предлагаемом материале, заложить научные и методологические основы для дальнейшей самостоятельной работы студентов.

Важной является самостоятельная работа по курсу. В ходе этой работы студенты отбирают необходимый материал по изучаемому вопросу и анализируют его. При подготовке к занятиям студенты могут пользоваться рабочей программой учебной дисциплины, а также справочной литературой и другими пособиями (учебниками, учебными пособиями, рекомендованной литературой и т.п.).

При промежуточной аттестации до экзамена должны сдать все отчетные работы и получить допуск к экзамену.

## **VII. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Аудитория для чтения лекций и проведения практических занятий:  
персональный компьютер Lenovo ThinkPad E125 с лицензионным и свободным программным обеспечением – MS PowerPoint 2007 и Acrobat Reader XI;

проектор Benq MP770;

переносной экран.



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
**«Дальневосточный федеральный университет»**  
(ДФУ)

---

НАЗВАНИЕ ШКОЛЫ (ФИЛИАЛА)

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ  
РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**  
по дисциплине «Квантовая электродинамика»  
Направление подготовки – 03.03.02 Физика  
Форма подготовки очная

**Владивосток**  
**2017**

## План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине

№	Дата/сроки выполнения	Вид самостоятельной работы	Примерные нормы времени на выполнение	Форма контроля
1	1 неделя	Подготовка к семинарским занятиям	9 часов	Работа на семинарских занятиях
2	2 неделя	Подготовка к семинарским занятиям	9 часов	Работа на семинарских занятиях
3	3 неделя	Подготовка к семинарским занятиям	9 часов	Работа на семинарских занятиях
4	4 неделя	Подготовка к семинарским занятиям	9 часов	Работа на семинарских занятиях
5	5 неделя	Подготовка к семинарским занятиям	9 часов	Работа на семинарских занятиях
6	6 неделя	Подготовка к семинарским занятиям	9 часов	Работа на семинарских занятиях
7	7 неделя	Подготовка к семинарским занятиям	9 часов	Работа на семинарских занятиях
8	8 неделя	Подготовка к семинарским занятиям	9 часов	Работа на семинарских занятиях

### Характеристика заданий для самостоятельной работы студентов и методические рекомендации по их выполнению

Самостоятельная работа помогает студентам:

1) овладеть знаниями:

- чтение текста (учебника, первоисточника, дополнительной литературы и т.д.);

- составление плана текста, графическое изображение структуры текста, конспектирование текста, выписки из текста и т.д.;

- работа со справочниками и др. справочной литературой;

- использование компьютерной техники и Интернета и др.;

2) закреплять и систематизировать знания:

- работа с конспектом лекции;



- обработка текста, повторная работа над учебным материалом учебника, первоисточника, дополнительной литературы, аудио и видеозаписей;

- подготовка плана;

Самостоятельная работа может осуществляться индивидуально или группами студентов в зависимости от цели, объема, конкретной тематики самостоятельной работы, уровня сложности и уровня умений студентов.

Контроль результатов самостоятельной работы студентов должен осуществляться в пределах времени, отведенного на обязательные учебные занятия и внеаудиторную самостоятельную работу студентов по дисциплине, может проходить в письменной, устной или смешанной форме.

#### Самостоятельная работа на лекции

Слушание и запись лекций – сложный вид вузовской аудиторной работы. Внимательное слушание и конспектирование лекций предполагает интенсивную умственную деятельность студента. Краткие записи лекций, их конспектирование помогает усвоить учебный материал. Конспект является полезным тогда, когда записано самое существенное, основное и сделано это самим студентом. Не надо стремиться записать дословно всю лекцию. Такое «конспектирование» приносит больше вреда, чем пользы. Запись лекций рекомендуется вести по возможности собственными формулировками. Желательно запись осуществлять на одной странице, а следующую оставлять для проработки учебного материала самостоятельно в домашних условиях. Конспект лекции лучше подразделять на пункты, параграфы, соблюдая красную строку. Этому в большой степени будут способствовать пункты плана лекции, предложенные преподавателям. Принципиальные места, определения, формулы и другое следует сопровождать замечаниями «важно», «особо важно», «хорошо запомнить» и т.п. Можно делать это и с помощью разноцветных маркеров или ручек. Лучше если они будут собственными, чтобы не приходилось просить их у однокурсников и тем самым не отвлекать их во время лекции. Целесообразно разработать собственную «маркографию» (значки, символы), сокращения слов. Не лишним будет и изучение основ стенографии. Работая над конспектом лекций, всегда необходимо использовать не только учебник, но и ту литературу, которую дополнительно рекомендовал лектор. Именно такая серьезная, кропотливая работа с лекционным материалом позволит глубоко овладеть знаниями.

#### Работа с литературными источниками

Самостоятельная работа с учебниками, учебными пособиями, научной, справочной и популярной литературой, материалами периодических изданий и Интернета является наиболее эффективным методом получения знаний, позволяет значительно активизировать процесс овладения информацией,

способствует более глубокому усвоению изучаемого материала, формирует у студентов свое отношение к конкретной проблеме. Более глубокому раскрытию вопросов способствует знакомство с дополнительной литературой.

### **Требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы**

Требования к конспекту для практических занятий:

1. Должен быть в отдельной тетради, подписанный.
2. Обязательно писать план занятия с указанием темы, вопросов, списка литературы и источников.
3. Отражать проблематику всех поставленных вопросов (анализ источника, литературы).
4. Иметь по ним аргументированные выводы. Слово «аргументированные» является ключевым. Главное - доказуемость выводов.

Критерии оценки выполнения самостоятельной работы

Контроль самостоятельной работы студентов предусматривает:

- соотнесение содержания контроля с целями обучения;
- объективность контроля;
- валидность контроля (соответствие предъявляемых заданий тому, что предполагается проверить);
- дифференциацию контрольно-измерительных материалов.

Формы контроля самостоятельной работы:

- Работа на семинарских занятиях .

Критерии оценки результатов самостоятельной работы

Критериями оценок результатов внеаудиторной самостоятельной работы студента являются:

- уровень освоения студентами учебного материала;
- сформированность общеучебных умений;
- умения студента активно использовать электронные образовательные ресурсы, находить требующуюся информацию, изучать ее и применять на практике;
- обоснованность и четкость изложения ответа;
- оформление материала в соответствии с требованиями;
- умение ориентироваться в потоке информации, выделять главное;
- умение четко сформулировать проблему, предложив ее решение, критически оценить решение и его последствия;
- умение показать, проанализировать альтернативные возможности, варианты действий;
- умение сформировать свою позицию, оценку и аргументировать ее.



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Дальневосточный федеральный университет»  
(ДФУ)

---

НАЗВАНИЕ ШКОЛЫ (ФИЛИАЛА)

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
по дисциплине «Квантовая электродинамика»  
Направление подготовки – 03.03.02 Физика  
Форма подготовки очная

Владивосток  
2017

## Паспорт ФОС

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
ПК-3 Способность эксплуатировать и обслуживать современную физическую аппаратуру и оборудование	Знает	теоретические основы квантовой электродинамики; основные физические системы и законы, описываемые квантовой теорией поля.
	Умеет	решать типовые задачи квантовой электродинамики.
	Владеет	точными и приближенными методами квантовой электродинамики.
ПК-4 Способность понимать и излагать получаемую информацию и представлять результаты физических исследований	Знает	предпосылки создания квантовой электродинамики; математический аппарат квантовой электродинамики.
	Умеет	проводить численные расчеты соответствующих физических величин в общепринятых системах единиц.
	Владеет	навыками самостоятельной работы с учебной и научной литературой.

№ п/п	Контролируемые модули/ разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций		Оценочные средства - наименование	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
1	Раздел 1. Квантовая механика фотона	ПК-3, ПК-4	Знает Умеет Владеет	Работа на семинарских занятиях	Зачет, вопросы № 1 - 6
2	Раздел 2. Релятивистская квантовая механика электрона	ПК-3, ПК-4	Знает Умеет Владеет	Работа на семинарских занятиях	Зачет, вопросы № 7 - 14
3	Раздел 3. Электромагнитное взаимодействие	ПК-3, ПК-4	Знает Умеет Владеет	Работа на семинарских занятиях	Зачет, вопросы № 15 - 24

### Шкала оценивания уровня сформированности компетенций

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции		критерии	показатели	баллы
ПК-3 Способность эксплуатировать и обслуживать современную физическую	знает (пороговый уровень)	теоретические основы квантовой электродинамики; основные физические системы и законы,	Знание теоретические основы квантовой электродинам	Способность перечислить и охарактеризовать теоретические	45-64

аппаратуру и оборудование		описываемые квантовой теорией поля.	и; основные физические системы и законы, описываемые квантовой теорией поля.	основания квантовой электродинамики; основные физические системы и законы, описываемые квантовой теорией поля.	
	умеет (продвинутый)	решать типовые задачи квантовой электродинамики.	Умение решать типовые задачи квантовой электродинамики.	Способность решать типовые задачи квантовой электродинамики.	65-84
	владеет (высокий)	точными и приближенными методами квантовой электродинамики.	Владение точными и приближенными методами квантовой электродинамики.	Способность применить точные и приближенные методы квантовой электродинамики при решении конкретных задач.	85-100
ПК-4 Способность понимать и излагать получаемую информацию и представлять результаты физических исследований	знает (пороговый уровень)	предпосылки создания квантовой электродинамики; математический аппарат квантовой электродинамики.	Знание предпосылок создания квантовой электродинамики; математический аппарат квантовой электродинамики.	Способность перечислить и охарактеризовать предпосылки создания квантовой электродинамики; математический аппарат квантовой электродинамики.	45-64
	умеет (продвинутый)	проводить численные расчеты соответствующих физических величин в общепринятых системах единиц.	Умеет проводить численные расчеты соответствующих физических величин в общепринятых системах единиц.	Способность проводить численные расчеты соответствующих физических величин в общепринятых системах единиц.	65-84
	владеет (высокий)	навыками самостоятельной работы с учебной литературой.	Владеет навыками самостоятельной работы с учебной литературой.	Способность продемонстрировать навыки самостоятельной работы с учебной и научной литературой.	85-100

### **Методические рекомендации, определяющие процедуры оценивания результатов освоения дисциплины**

Промежуточная аттестация обучающихся по учебной дисциплине осуществляется в рамках завершения изучения данной дисциплины и

позволяет определить качество и уровень ее освоения. Предметом оценки освоения являются умения и знания.

Промежуточная аттестация обучающихся осуществляется в форме экзамена и позволяет определить развитие общих компетенций, предусмотренных для ОПОП. Условием допуска к экзамену является успешное освоение обучающимися всех элементов дисциплины (выполнение и сдача всех коллоквиумов и контрольных работ).

Текущий контроль успеваемости осуществляется в ходе повседневной учебной работы по курсу дисциплины. Данный вид контроля стимулирует у обучающихся стремление к систематической самостоятельной работе по изучению учебной дисциплины, овладению общими компетенциями.

### **ВОПРОСЫ К ЗАЧЕТУ по дисциплине «Квантовая электродинамика»**

1. Уравнения Максвелла
2. Волновая функция фотона
3. Момент количества движения фотона
4. Системы двух фотонов
5. Квантование электромагнитного поля
6. Сингулярные функции, связанные с волновыми полями
7. Уравнение Дирака
8. Свойства инвариантности уравнения Дирака
9. Свободный электрон
10. Движение электрона во внешнем поле
11. Рассеяние электронов
12. Предельные переходы к нерелятивистской квантовой механике и релятивистской классической механике
13. Релятивистски инвариантные уравнения полей
14. Квантование электронно-позитронного поля
15. Основные уравнения квантовой электродинамики
16. Матрица рассеяния
17. Графическое представление элементов матрицы рассеяния
18. Вероятность и эффективное сечение
19. Свойства симметрии электромагнитного взаимодействия
20. Структура диаграмм матрицы рассеяния
21. Функции Грина взаимодействующих полей
22. Перенормировка массы и заряда электрона
23. Расходимости в матрице рассеяния и их устранение

## 24. Асимптотические свойства функций Грина и границы применимости квантовой электродинамики

### **Критерии оценки на зачете по дисциплине «Квантовая электродинамика»**

Оценка «зачтено» ставится, если ответ обнаруживает прочные знания основных процессов изучаемой предметной области, отличается глубиной и полнотой раскрытия темы; владение терминологическим аппаратом; умение объяснять сущность, явлений, процессов, событий, делать выводы и обобщения, давать аргументированные ответы, приводить примеры; свободное владение монологической речью, логичность и последовательность ответа. Однако допускается одна - две неточности в ответе.

Оценка «не зачтено» ставится, если ответ обнаруживает незнание процессов изучаемой предметной области, отличающийся неглубоким раскрытием темы; незнанием основных вопросов теории, несформированными навыками анализа явлений, процессов; неумением давать аргументированные ответы, слабым владением монологической речью, отсутствием логичности и последовательности. Допускаются серьезные ошибки в содержании ответа; незнание современной проблематики изучаемой области.