



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
ФГБОУ ВО «ИГУ»  
Кафедра теоретической физики

УТВЕРЖДАЮ  
Декан физического факультета  
/ Н.М. Буднев  
« 20 » Июль 2017 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Наименование дисциплины: Б1.В.ДВ.3.2 Квантовая электродинамика

Направление подготовки: 03.03.02 Физика

Тип образовательной программы: академический бакалавриат

Направленность (профиль): Солнечно-земная физика

Квалификация (степень) выпускника: бакалавр

Форма обучения: очная

Согласовано с УМК:  
физического факультета  
Протокол № 8 от « 19 » Июль 2017 г.

Зам. председателя к.ф.-м.н., доцент  
Чумак В.В Чумак

Рекомендовано кафедрой:  
теоретической физики  
Протокол № 8  
от « 31 » мая 2017 г.  
Зав.кафедрой к.ф.-м.н., доцент  
Ловцов С.В. Ловцов

Иркутск 2017 г.

## Содержание

1. Цели и задачи дисциплины (модуля) .....	3
2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП .....	3
3. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля) .....	3
4. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы (разделяется по формам обучения) .....	4
5. Содержание дисциплины (модуля) .....	4
6. Перечень семинарских, практических занятий, лабораторных работ .....	5
7. Примерная тематика курсовых работ (проектов) .....	7
8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля): .....	8
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля).....	9
10. Образовательные технологии .....	9
11. Оценочные средства (ОС) .....	9
12. Приложение: ФОС.....	10

## 1. Цели и задачи дисциплины (модуля)

Квантовая электродинамика является наиболее развитой теорией поля, которая имеет применения для широкого круга физических явлений и предсказания которой проверены с рекордной точностью. Кроме того, она является относительно простым полигоном для изучения методов, применимых для неабелевых калибровочных полей.

В этом курсе впервые встречаются многие понятия, такие, как диаграммы Фейнмана, лагранжиан взаимодействия и т.д. .

### Цели курса

Целью курса «Квантовая электродинамика» является изучение методов квантовой теории поля и основных квантовоэлектродинамических явлений. Знания, полученные при изучении курса «Квантовая электродинамика» формируют физическую культуру.

### Задачи курса

Данный курс призван решать следующие задачи:

- изучение методов квантовой теории поля
- знакомство с основными физическими явлениями, описываемыми квантовой электродинамикой
- формирование у студентов умений и навыков самостоятельного вычисления КЭД эффектов;
- изучение методов высших порядков теории возмущений;

Программа ориентирована на развитие у студентов интереса к самостоятельному изучению фундаментальных основ науки.

## 2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП.

«Квантовая электродинамика» является дисциплиной по выбору в вариативной части общенаучного цикла ОПОП. При изучении курса «Квантовая электродинамика» используются знания, приобретенные при изучении основных физических и математических курсов, а также спецкурсов по релятивистской квантовой теории и теории излучения. Курс «Квантовая электродинамика» является базовым для изучения такого курса как «Слабые взаимодействия», а также курсов по физике частиц и астрофизике.

## 3. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля)

Процесс изучения дисциплины (модуля) направлен на формирование следующих компетенций:

- способностью использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач (ОПК-3);
- способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин (ПК-1).

В результате изучения дисциплины студент должен:

**Знать:** основные типы взаимодействий и методы вычислений в квантовой теории поля, основные проблемы квантовой теории поля.

**Уметь:** использовать математический аппарат для решения задач КЭД.

**Владеть:** навыками вычисления сечений и вероятностей распадов, методами вычислений петлевых поправок.

#### 4. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы (разделяется по формам обучения)

Вид учебной работы	Всего часов / зачетных единиц	Семестры	
		7	
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	78/2,2	78	
В том числе:			-
Лекции	18/0,5	18	
Практические занятия (ПЗ)	54/1,5	54	
КСР	6/0,2	6	
<b>Самостоятельная работа (всего)</b>	30/0,8	30	
Вид промежуточной аттестации (зачет)			
<b>Контактная работа (всего)</b>	81/2,25	81	
Общая трудоемкость	часы	108	108
	зачетные единицы	3	3

#### 5. Содержание дисциплины (модуля)

##### 5.1 Содержание разделов и тем дисциплины (модуля)

###### Раздел 1. ОСНОВНЫЕ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

1. Правила Фейнмана КЭД
2. Комптон-эффект, вычисление матричного элемента.
3. Сечение Комптон-эффекта для неполяризованных частиц.
4. Сечение  $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$
5. Тормозное излучение на ядре.
6. Тормозное излучение на ядре. Формфакторы.
7. Метод эквивалентных фотонов.

###### Раздел 2. ВЫСШИЕ ПОРЯДКИ ТЕОРИИ ВОЗМУЩЕНИЙ

8. Альфа-представление.
9. Методы регуляризации.
10. Аналитические свойства собственно-энергетической части, правило вычисления скачка.
11. Вычисление поляризационного оператора.
12. Тождество Уорда, теорема Фарри.

###### Раздел 3. ПЕРЕНОРМИРОВКИ В КЭД

13. Уравнения Дайсона-Швингера.
14. Расходимости в КЭД.
15. Мультипликативная перенормировка.
16. Логарифмическая асимптотика фейнмановских интегралов.
17. Главное логарифмическое приближение, уравнение Гелл-Мана – Лоу.
18. Ренормгрупповые уравнения.

**5.2 Разделы дисциплины (модуля) и междисциплинарные связи с обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами (модулями)**

№ п/п	Наименование обеспечиваемых (последующих) дисциплин	№ № разделов и тем данной дисциплины, необходимых для изучения обеспечиваемых (последующих) дисциплин (вписываются разработчиком)									
1.	Слабые взаимодействия	1.1	1.4	2.10	3.14						

**5.3 Разделы и темы дисциплин (модулей) и виды занятий**

№ п/п	Наименование раздела	Наименование темы	Виды занятий в часах					
			Лекц.	Практ. зан.	Семина	Лаб. Зан.	СРС	Всего
1.	Раздел 1	Тема 1	1	3	-	-	2	6
2		Тема2	1	3	-	-	2	6
3		Тема 3	1	3	-	-	2	6
4		Тема 4	1	3	-	-	2	6
5	Раздел 2	Тема 5	1	3	-	-	2	6
6		Тема 6	1	3	-	-	2	6
7		Тема 7	1	3	-	-	2	6
8	Раздел 3	Тема 8	1	3	-	-	2	6
9		Тема 9	1	3	-	-	2	6
10		Тема 10	1	3	-	-	2	6
11		Тема 11	1	3	-	-	2	6
12	Раздел 4	Тема 12	1	3	-	-	2	6

#### 6. Перечень семинарских, практических занятий, лабораторных работ

№ п/п	№ раздела и темы дисциплины (модуля)	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Труд оёмк ость (часы )	Оценочные средства	Формируем ые компетенци и
----------	---	--	------------------------------------	-----------------------	------------------------------------

1	2	3	4	5	6
1.	Раздел 1, Тема 1	Правила Фейнмана КЭД	3	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1 ОПК-3
2.	Раздел 1, Тема 2	Вычисление квадрата амплитуды Комптона-эффекта. Знакомство с REDUCE	3	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1 ОПК-3
3.	Раздел 1, Тема 3	Вычисление сечения. Учет поляризации фотонов.	3	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1 ОПК-3
4.	Раздел 1, Тема 4	Сечение рождения мюонов. Угловые распределения.	3	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1 ОПК-3
5.	Раздел 2, Тема 5	Предел мягких фотонов в тормозном излучении.	3	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1 ОПК-3
6.	Раздел 2, Тема 6	Структура мишени и формфактор.	3	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1 ОПК-3
7.	Раздел 2, Тема 7	Метод эквивалентных фотонов: рождение тормозного фотона на ядре.	3	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1 ОПК-3
8.	Раздел 3, Тема 8	Петлевые вклады, виды регуляризации.	3	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1 ОПК-3
9.	Раздел 3, Тема 9	Методы вычислений: фейнмановская параметризация.	3	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1 ОПК-3
10.	Раздел 3, Тема 10	Вычисление скачка амплитуды и унитарность.	3	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1 ОПК-3
11.	Раздел 3, Тема 11	Поляризационный оператор и размерная регуляризация.	3	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1 ОПК-3
12.	Раздел 4, Тема 12	Теорема Фарри для 3-фотонной амплитуды, проверка.	3	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1 ОПК-3
13.	Раздел 4, Тема 13	Поправка к закону Кулона	3	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1 ОПК-3
14.	Раздел 4, Тема 14	Контрольная работа	3	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1 ОПК-3
15.	Раздел 4, Тема 15	Константы перенормировки и калибровочная инвариантность.	3	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1 ОПК-3
16.	Раздел 4, Тема 16	Асимптотика петлевых вкладов в вершину и пропагаторы.	3	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1 ОПК-3

17.	Раздел 5, Тема 17	Решение ренормгрупповых уравнений в 1-петлевом приближении.	3	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1 ОПК-3
18.	Раздел 5, Тема 18	Контрольная работа.	3	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1 ОПК-3



### 6.1. План самостоятельной работы студентов

№ нед.	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуемая литература	Количество часов
1	Правила Фейнмана	Внеаудиторная, решение задач	Правила Фейнмана для различных теорий	Источники из основной и дополнительной литературы по теме практических занятий; Образовательные ресурсы, доступные по логину и паролю, предоставляемые Научной библиотекой ИГУ и Сторонние сайты	2
2	Правила Фейнмана		Учет поляризации		2
3	Квадрат амплитуды		Знакомство с REDUCE, использование для вычислений.		2
4	Амплитуда в КЭД		Мнимые части графиков		2
5	Кинематика		Инвариантные переменные и физические области		2
6	Процессы КЭД		Позитроний, квантовые числа, моды распада.		2
7	Процессы КЭД		Образование пар фотоном в поле ядра.		2
8	Процессы КЭД		Метод эквивалентных фотонов, спектр фотонов.		2
9	Процессы КЭД		Аннигиляция позитрония		2
10	Процессы КЭД		Разложение по парциальным волнам.		2
11	Процессы КЭД		Электрон в поле плоской электромагнитной волны.		2
12	Процессы КЭД		Вычисление 4-мерных интегралов		2
13	Высшие порядки ТВ		Аналитические свойства поляризационного оператора.		1
14	Высшие порядки ТВ		Вычисление индекса расходимости диаграммы		1
15	Высшие порядки ТВ		Перенормировка на массовой поверхности.		1
16	Высшие порядки ТВ		Контрчлены в лагранжиане.		1
17	Высшие порядки ТВ		Свойства размерной регуляризации		1
18	Высшие порядки ТВ		Ренормгрупповые уравнения		1

### 6.2. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов

В разделе 6.1. студентам для самостоятельного углубленного изучения дисциплины (параллельно с лекциями) предлагаются задачи по изучаемым разделам и график их изучения. Предполагается, что студент самостоятельно изучит дополнительные параграфы по пройденной теме, представленные в литературе из п. 8, а затем решит предложенные в п. 6.1 задачи, методы решения которых частично обсуждаются на семинарах. Оценка самостоятельной работы студентов проводится в виде контрольных опросов на практических занятиях.

## **7. Примерная тематика курсовых работ (проектов)**

Учебным планом не предусмотрено написание курсовых работ (проектов).

## 8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля):

### а) основная литература

1. Топтыгин И.Н. Современная электродинамика / И. Н. Топтыгин. - Ижевск: Регулярная и хаотич. динамика. Ч.2: Теория электромагнитных явлений в веществе: учеб. пособие. - 2005. - 848 с. (3)
2. [Ландау, Лев Давидович](#). Теоретическая физика: учеб. пособие : в 10 т. / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. - 4-е изд., испр. - М. : Наука. Физматлит, 2006.  
Т.4 : Квантовая электродинамика [Электронный ресурс] / Б. В. Берестецкий, Е. М. Лифшиц, Л. П. Питаевский. – 2006. - 720 с. : ил. - (Теоретическая физика ; том IV). – Режим доступа: ЭБС "Издательство "Лань". - Неогранич. доступ.

### б) дополнительная литература:

1. [Ландау, Л.Д.](#) Теоретическая физика: В 10 т. / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. - М. : Наука. - Т. 4 : Квантовая электродинамика / В.Б. Берестецкий, Е.М. Лифшиц, Л.П. Питаевский и др. - 3-е изд., испр. . - 1989. - 723 с. - ISBN 5-02-014422-3 (20 экз.)
2. Фейнман, Р. Ф. Квантовая электродинамика : курс лекций / Р. Ф. Фейнман. - М. : Либликом, 2009. - 218 с. - ISBN 978-5-397-00384-1 (1)
2. Ахиезер, А. И. Квантовая электродинамика / А. И. Ахиезер, В. Б. Берестецкий. - 4-е изд., перераб. - М. : Наука, 1981. - 432 с. (2)
3. Бьёркен Д.Д. Релятивистская квантовая теория / Д. Д. Бьёркен. - Т.1 (1 экз.)
4. Боголюбов, Н. Н. Квантовые поля: учеб. пособие для вузов / Н. Н. Боголюбов, Д. В. Ширков ; Московский гос. ун-т им. М.В. Ломоносова. - 3-е изд., доп. - М. : Физматлит, 2005. - 383 с. - ISBN 5-9221-0580-9 (1)
5. Волошин, М. Б. Теория калибровочных взаимодействий элементарных частиц / М. Б. Волошин, К. А. Тер-Мартirosян. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 296 с. (2)

### в) базы данных, поисково-справочные и информационные системы

<http://library.isu.ru/> - Научная библиотека ИГУ;

Образовательные ресурсы, доступные по логину и паролю, предоставляемым Научной библиотекой ИГУ:

- <https://isu.bibliotech.ru/> - ЭЧЗ «БиблиоТех»;
- <http://e.lanbook.com> - ЭБС «Издательство «Лань»;
- <http://rucont.ru> - ЭБС «Руконт» - межотраслевая научная библиотека, содержащая оцифрованные книги, периодические издания и отдельные статьи по всем отраслям знаний, а также аудио-, видео-, мультимедиа софт и многое другое;
- <http://ibooks.ru/> - ЭБС «Айбукс» - интернет ресурсы в свободном доступе.

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

Учебная аудитория с доской для проведения занятий. На лекциях могут использоваться мультимедийные средства: проектор, переносной экран, ноутбук. Использование глобальной компьютерной сети позволяет обеспечить доступность интернет-ресурсов и реализовать самостоятельную работу студентов. На факультете имеется компьютеризированная аудитория, предназначенная для самостоятельной работы, с неограниченным доступом в Интернет.

## 10. Образовательные технологии

При изучении данной дисциплины используются следующие образовательные технологии:

1. Лекции, нацеленные на получение необходимой информации, и ее использование при решении практических задач
2. Практические занятия, направленные на активизацию познавательной деятельности студентов и приобретения ими навыков решения практических и проблемных задач;
3. Консультации – еженедельно для всех желающих студентов; Компьютерные симуляции для демонстрации различных механических процессов.
4. Текущий контроль за деятельностью студентов осуществляется в основном на практических занятиях при дискуссии о результатах выполненных практических работ.

## 11. Оценочные средства (ОС).

Фонд оценочных средств представлен в приложении.

### Разработчики:



профессор кафедры теоретической физики

А.Е. Калошин

Программа рассмотрена на заседании кафедры теоретической физики

«31» мая 2017 г.

Протокол № 8 Зав. кафедрой \_\_\_\_\_



С.В. Ловцов

**Настоящая программа не может быть воспроизведена ни в какой форме без предварительного письменного разрешения кафедры-разработчика программы.**