



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФГБОУ ВО «ИГУ»

Кафедра теоретической физики

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета

/Н.М. Буднев

«02» апреля 2025 г.



Рабочая программа дисциплины

Наименование дисциплины: Б1.В.ДВ.03.01 Квантовая электродинамика

Направление подготовки: 03.03.02 Физика

Направленность (профиль) подготовки: Фундаментальная физика и физика Космоса

Квалификация (степень) выпускника: Бакалавр

Форма обучения: Очная

Согласовано с УМК физического факультета
Протокол №49 от «26» марта 2025 г.

Председатель _____
Н.М.Буднев

Рекомендовано кафедрой:

Протокол №6
От «24» марта 2025 г.

Зав. кафедрой _____
С.В. Ловцов

Иркутск 2025 г.

Содержание

I. Цели и задачи дисциплины.....	3
II. Место дисциплины в структуре ОПОП.....	3
III. Требования к результатам освоения дисциплины.....	3
IV. Содержание и структура дисциплины (модуля).....	4
4.1. Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов.....	4
4.2. План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.....	4
4.3. Содержание учебного материала.....	5
4.3.1. Перечень семинарских, практических занятий, лабораторных работ.....	5
4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС).....	6
4.4 Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.....	7
4.5. Примерная тематика курсовых работ.....	7
V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.....	7
а) список литературы.....	7
б) периодические издания.....	8
в) список авторских методических разработок.....	8
г) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы.....	8
VI. Материально-техническое обеспечение дисциплины.....	8
VII. Образовательные технологии.....	8
VIII. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации.....	9
Приложение: фонд оценочных средств	

I. Цели и задачи дисциплины

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.

II. Место дисциплины в структуре ОПОП

«Квантовая электродинамика» относится к дисциплинам, формируемым участниками образовательного процесса. 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.

III. Требования к результатам освоения дисциплины

Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Компетенция	ПК-1: Способен использовать специализированные знания в области физики и астрофизики для освоения профильных физических дисциплин.
Индикаторы компетенции	ИДК _{ПК 1.1} Способен проводить анализ научных данных, результатов экспериментов и наблюдений, используя специализированные знания в области физики и астрофизики. ИДК _{ПК1.2} Способен проводить анализ новых направлений исследований и опытно-конструкторских разработок в соответствующей области знаний.
Результаты обучения	Знает: основные типы взаимодействий и методы вычислений в квантовой теории поля, основные проблемы квантовой теории поля. Умеет: использовать математический аппарат для решения задач КЭД. Владеет: навыками вычисления сечений и вероятностей распадов, методами вычислений петлевых поправок.

IV. Содержание и структура дисциплины (модуля)

Объем дисциплины составляет 4 зачетных единиц, 144 ч., в том числе 95 часов контактной работы.

Занятия проводятся только в очной форме обучения с применением дистанционного контроля самостоятельной работы студентов через ЭИОС факультета. Электронной и дистанционной форм обучения не предусматривается.

На практическую подготовку отводится 50 часов.

Форма промежуточной аттестации: экзамен.

4.1. Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов

№ п/п	Разде л дисц ипли ны/те мы	С е м е с т р	Вс ег о ча со в	Из них практ ическ ая подго товка обуча ющи хся	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся , практическую подготовку и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля успеваемости; Форма промежуточно й аттестации (по семестрам)
					Контактная работа преподавателя с обучающимися			Самостоятел ьная работа	
					Лекции	Семинарские /практические /лабораторные занятия	Консультации		
1	1-18	7	144	50	34	50	1	23	Практическое задание; вопросы к экзамену
Итого:			144	50	34	50	1	23	

4.2. План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Семестр	Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы
		Вид самостоятельной работы	Сроки выполнения	Трудоемкость (час.)		
7	Тема 1-18	Задание в виде задачи	После пройденных тем	23	Демонстрация готовых решений	Источники из основной и дополнительной литературы по теме практических занятий; Образовательные ресурсы, доступные по логину и паролю, предоставляемым Научной библиотекой ИГУ.

4.3. Содержание учебного материала

Содержание разделов и тем дисциплины

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^-
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.

4.3.1. Перечень семинарских, практических занятий, лабораторных работ

№ п/п	№ раздела и темы дисциплины (модуля)	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Трудоемкость (часы)	Оценочные средства	Формируемые компетенции
1	2	3	4	5	6
1.	Раздел 1, Тема 1	Правила Фейнмана КЭД	2	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1
2.	Раздел 1, Тема 2	Вычисление квадрата амплитуды Комптон-эффекта. Знакомство с REDUCE	2	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1
3.	Раздел 1, Тема 3	Вычисление сечения. Учет поляризации фотонов.	2	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1
4.	Раздел 1, Тема 4	Сечение рождения мюонов. Угловые распределения.	2	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1
5.	Раздел 2, Тема 5	Предел мягких фотонов в тормозном излучении.	3	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1
6.	Раздел 2, Тема 6	Структура мишени и формфактор.	3	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1
7.	Раздел 2, Тема 7	Метод эквивалентных фотонов: рождение тормозного фотона на ядре.	3	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1

8.	Раздел 3, Тема 8	Петлевые вклады, виды регуляризаций.	3	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1
9.	Раздел 3, Тема 9	Методы вычислений: фейнмановская параметризация.	3	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1
10.	Раздел 3, Тема 10	Вычисление скачка амплитуды и унитарность.	3	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1
11.	Раздел 3, Тема 11	Поляризационный оператор и размерная регуляризация.	3	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1
12.	Раздел 4, Тема 12	Теорема Фарри для 3-фотонной амплитуды, проверка.	3	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1
13.	Раздел 4, Тема 13	Поправка к закону Кулона	3	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1
14.	Раздел 4, Тема 14	Контрольная работа	3	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1
15.	Раздел 4, Тема 15	Константы перенормировки и калибровочная инвариантность.	3	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1
16.	Раздел 4, Тема 16	Асимптотика петлевых вкладов в вершину и пропагаторы.	3	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1
17.	Раздел 5, Тема 17	Решение ренормгрупповых уравнений в 1-петлевом приближении.	3	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1
18.	Раздел 5, Тема 18	Контрольная работа.	3	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1

4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС)

№ 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,	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.		1

7	Процессы КЭД		Образование пар фотоном в поле ядра.		1
8	Процессы КЭД		Метод эквивалентных фотонов, спектр фотонов.		1
9	Процессы КЭД		Аннигиляция позитрония		1
10	Процессы КЭД		Разложение по парциальным волнам.		1
11	Процессы КЭД		Электрон в поле плоской электромагнитной волны.		1
12	Процессы КЭД		Вычисление 4-мерных интегралов		1
13	Высшие порядки ТВ		Аналитические свойства поляризационного оператора.	предоставляем ым Научной библиотекой ИГУ и Сторонние сайты	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

4.4 Методические указания по организации самостоятельной работы студентов

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, а затем решит предложенные задачи, методы решения которых частично обсуждаются на семинарах. Оценка самостоятельной работы студентов проводится в виде контрольных опросов на практических занятиях.

4.5. Примерная тематика курсовых работ

Учебным планом не предусмотрено написание курсовых работ.

V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) список литературы

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.

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.)

б) периодические издания

- нет

в) список авторских методических разработок

- нет

г) базы данных, информационно-справочные и поисковые 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 «Руко́нт» - 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.

VI. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Учебная аудитория 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.

VII. 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.

VIII. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации

Фонд оценочных средств представлен в приложении.

Оценочные средства текущего контроля — контрольные работы.

Форма проведения промежуточной аттестации — экзамен.

Варианты задач для контрольной работы

1. Нарисовать все диаграммы низшего порядка

а) для процесса $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$,

б) для процесса $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$.

Написать матричный элемент для одной из них.

2. Написать матричный элемент диаграммы, содержащей петлевую поправку к фотонному пропагатору.

Примерный перечень вопросов к экзамену

1. Правила Фейнмана вычисления матричных элементов в импульсном представлении.
2. Калибровочная инвариантность матричных элементов.
3. Вычисление сечения.
4. Атомный формфактор, формфакторы нуклона.
5. Тормозное излучение при рассеянии на ядре.
6. Переход к альфа-представлению в петлевых интегралах.
7. Регуляризации петлевых вкладов.
8. Виковский поворот, переход к евклидову пространству.
9. Аналитические свойства, правила Ландау-Куткоски.
10. Размерная регуляризация.
11. С-четность и теорема Фарри.
12. Тождество Уорда в КЭД.
13. Вычисление поляризованного оператора.
14. Метод эквивалентных фотонов.
15. Альфа-представление для петлевых вкладов.
16. Фейнмановская параметризация.
17. Размерная регуляризация.
18. Индекс расходимости диаграммы.
19. Перенормировка и контрчлены в лагранжиане.
20. Перенормировка вычитанием на массовой поверхности.
21. Мультипликативная перенормировка.
22. Логарифмическая асимптотика диаграмм в КЭД.
23. Уравнения Дайсона-Швингера.
24. Полные пропагаторы и вершины.
25. Уравнение Гелл-Мана – Лоу.
26. Нуль заряда в КЭД.

Пример тестовых заданий для проверки сформированности компетенций, указанных выше

п.3:

1. Уравнение Шредингера, описывающее эволюцию квантовой волновой функции состояния системы...

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi = \hat{H}(p, q) \Psi,$$

- а) Постулируется, в нерелятивистском пределе воспроизводит классические результаты
- б) Напрямую следует из уравнений классической теории, полностью повторяет классические результаты
- в) Напрямую следует из уравнений классической теории, его результаты противоречат результатам классических уравнений

2. При распаде отрицательно заряженного мюона образуются мюонное нейтрино, ...

- а) ... электрон и электронное антинейтрино

- б) ... протон и фотон
- в) ... нейтрон и фотон

3. Позитрон можно охарактеризовать как

- а) фермион со спином $\frac{1}{2}$, электрическим зарядом $+e$
- б) бозон со спином 1, электрическим зарядом $-e$
- в) фермион со спином $\frac{1}{2}$, электрическим зарядом $-e$

Разработчики:



доцент кафедры теоретической физики

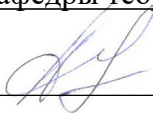
А.А. Шишмарев

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.03.02 Физика.

Программа рассмотрена на заседании кафедры теоретической физики «24» марта 2025 г.

Протокол №6

Зав. кафедрой



С.В. Ловцов

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