



Министерство науки и высшего образования 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

«22» апреля 2020 г.



Рабочая программа дисциплины

Наименование дисциплины: Б1.В.ДВ.03.02 Квантовая электродинамика

Направление подготовки: 03.03.02 Физика

Тип образовательной программы: Академический бакалавриат

Направленность (профиль) подготовки: Солнечно-земная физика

Квалификация (степень) выпускника: Бакалавр

Форма обучения: Очная

Согласовано с УМК физического факультета

Протокол №25 от «21» апреля 2020 г.

Председатель

Н.М. Буднев

Рекомендовано кафедрой:

Протокол №8

От «14» апреля 2020 г.

И.о. зав. кафедрой

С.В. Ловцов

Иркутск 2020 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 и виды учебной работы	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
Приложение: фонд оценочных средств	

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:

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

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 и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов / зачетных единиц	Семестры	
		7	
Аудиторные занятия (всего)	86	86	
В том числе:			
Лекции	16	16	
Практические занятия (ПЗ)	64/	64	
КСР	6/0,2	6	
Самостоятельная работа (всего)	58/1,5	58	
Вид промежуточной аттестации (зачет)			
Контактная работа (всего)	91/	91	
Общая трудоемкость	часы	144	144
	зачетные единицы	4	4

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^-
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)									
		1.1	1.4	2.10	3.14						
1.	Слабые взаимодействия										

5.3 Разделы и темы дисциплин и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела	Наименование темы	Виды занятий в часах			
			Лекц.	Практ. зан.	СРС	Всего
1	Раздел 1	Тема 1-4	4	12	18	34
2	Раздел 2	Тема 5-7	2	12	8	22
3	Раздел 3	Тема 8-11	4	12	12	28
4	Раздел 4	Тема 12-16	4	16	12	32
5	Раздел 5	Тема 17-18	2	12	8	22

6. 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	4	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1, ОПК-3
2.	Раздел 1, Тема 2	Вычисление квадрата амплитуды Комптон-эффекта. Знакомство с REDUCE	4	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1, ОПК-3
3.	Раздел 1, Тема 3	Вычисление сечения. Учет поляризации фотонов.	4	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1, ОПК-3
4.	Раздел 1, Тема 4	Сечение рождения мюонов. Угловые распределения.	4	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1, ОПК-3
5.	Раздел 2, Тема 5	Предел мягких фотонов в тормозном излучении.	4	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1, ОПК-3
6.	Раздел 2, Тема 6	Структура мишени и формфактор.	4	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1, ОПК-3
7.	Раздел 2, Тема 7	Метод эквивалентных фотонов: рождение тормозного фотона	4	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1, ОПК-3

		на ядре.		виде задачи	
8.	Раздел 3, Тема 8	Петлевые вклады, виды регуляризаций.	4	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1, ОПК-3
9.	Раздел 3, Тема 9	Методы вычислений: фейнмановская параметризация.	4	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1, ОПК-3
10.	Раздел 3, Тема 10	Вычисление скачка амплитуды и унитарность.	4	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, предоставляемым Научной библиотекой ИГУ и Сторонние сайты	4
2	Правила Фейнмана		Учет поляризации		6
3	Квадрат амплитуды		Знакомство с REDUCE, использование для вычислений.		6
4	Амплитуда в КЭД		Мнимые части графиков		2
5	Кинематика		Инвариантные переменные и физические области		4
6	Процессы КЭД		Позитроний, квантовые числа, моды распада.		4
7	Процессы КЭД		Образование пар фотоном в поле ядра.		4
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.		4
12	Процессы КЭД		Вычисление 4-мерных интегралов		2
13	Высшие порядки ТВ		Аналитические свойства поляризационного оператора.		2
14	Высшие порядки ТВ		Вычисление индекса расходимости диаграммы		2
15	Высшие порядки ТВ		Перенормировка на массовой поверхности.		2
16	Высшие порядки ТВ		Контрчлены в лагранжиане.		2
17	Высшие порядки ТВ		Свойства размерной регуляризации		4
18	Высшие порядки ТВ		Ренормгрупповые уравнения		4

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 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.

Оценочные средства текущего контроля — контрольные работы.

Форма проведения промежуточной аттестации — зачет.

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 зачету

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.

Разработчики:



профессор кафедры теоретической физики

А.Е. Калошин

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

Программа рассмотрена на заседании кафедры теоретической физики «14» апреля 2020 г.

Протокол №8 И.о. зав. кафедрой  С.В. Ловцов

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