



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

УТВЕРЖДАЮ

Декан (директор)

“20” июня 2017 г.

Рабочая программа дисциплины

Наименование дисциплины: Б1.В.ДВ.2.1 Квантовая электродинамика

Направление подготовки: 03.03.02 Физика

Тип образовательной программы: Академический бакалавриат

Направленность (профиль) подготовки: Фундаментальная физика

Квалификация (степень) выпускника: Бакалавр

Форма обучения: Очная

Согласовано с УМК физического факультета

Протокол №8 от «19» июня 2017 г.

Зам. председателя

В.В. Чумак

Рекомендовано кафедрой:

Протокол №8

От «31» мая 2017 г.

Зав. кафедрой

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 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).

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) | 84/2,3 | 84 | |
| В том числе: | | | - |
| Лекции | 18/0,5 | 18 | |
| Практические занятия (ПЗ) | 54/1,5 | 54 | |
| КСР | 12/0,3 | 12 | |
| Самостоятельная работа (всего) | 69/1,9 | 69 | |
| Вид промежуточной аттестации (экзамен) | 27/0,75 | 27 | |
| Контактная работа (всего) | 91/2,5 | 91 | |
| Общая трудоемкость | часы | 180 | |
| | зачетные единицы | 5 | |

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 | 20 | 36 |
| 2 | Раздел 2 | Тема 5-7 | 3 | 9 | 15 | 27 |
| 3 | Раздел 3 | Тема 8-11 | 4 | 12 | 20 | 36 |
| 4 | Раздел 4 | Тема 12-16 | 5 | 15 | 35 | 55 |
| 5 | Раздел 5 | Тема 17-18 | 2 | 9 | 20 | 31 |

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 | 3 | Задание на семинаре в виде задачи | ПК-1 |
| 2. | Раздел 1, Тема 2 | Вычисление квадрата амплитуды Комpton-эффекта. Знакомство с REDUCE | 3 | Задание на семинаре в виде задачи | ПК-1 |
| 3. | Раздел 1, Тема 3 | Вычисление сечения. Учет поляризации фотонов. | 3 | Задание на семинаре в виде задачи | ПК-1 |
| 4. | Раздел 1, Тема 4 | Сечение рождения мюонов. Угловые распределения. | 3 | 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 | Петлевые вклады, виды | 3 | Задание на | ПК-1 |

| | | | | | |
|-----|-------------------|---|---|-----------------------------------|------|
| | 8 | регуляризаций. | | семинаре в виде задачи | |
| 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 |

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 | | 4 |
| 3 | Квадрат амплитуды | | Знакомство с REDUCE, использование для вычислений. | | 4 |
| 4 | Амплитуда в КЭД | | Мнимые части графиков | | 4 |
| 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. | | 3 |
| 8 | Процессы КЭД | | Метод эквивалентных фотонов, спектр фотонов. | | 3 |
| 9 | Процессы КЭД | | Аннигиляция позитрония | | 3 |
| 10 | Процессы КЭД | | Разложение по парциальным волнам. | | 3 |
| 11 | Процессы КЭД | | Электрон в поле плоской электромагнитной волны. | | 3 |
| 12 | Процессы КЭД | | Вычисление 4-мерных интегралов | | 4 |
| 13 | Высшие порядки ТВ | | Аналитические свойства поляризационного оператора. | | 4 |
| 14 | Высшие порядки ТВ | | Вычисление индекса расходимости диаграммы | | 4 |
| 15 | Высшие порядки ТВ | | Перенормировка на массовой поверхности. | | 4 |
| 16 | Высшие порядки ТВ | | Контрчлены в лагранжиане. | | 4 |
| 17 | Высшие порядки ТВ | | Свойства размерной регуляризации | | 5 |
| 18 | Высшие порядки ТВ | | Ренормгрупповые уравнения | | 5 |

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)

Сверено с ЭБС ИГУ

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 «Рукопт» - 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 — 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.

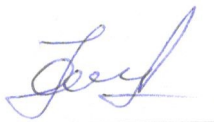
2. Написать матричный элемент диаграммы, содержащей петлевую поправку к фотонному пропагатору.

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.

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.