



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ФГБОУ ВО «ИГУ»
физический факультет

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета

/Буднев Н.М./

“20” мая 2019 г.

Рабочая программа дисциплины (модуля)

Код дисциплины ФТД.1

Наименование дисциплины (модуля) **Квантовая электродинамика**

Направление подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре

03.06.01 – Физика и астрономия

Направленность (научная специальность) **Теоретическая физика**

Форма обучения очная

Согласовано с УМК физического факультета
Протокол № 20 от « 17 апреля » 2019 г.

Программа рассмотрена на заседании
кафедры теоретической физики
« 20 марта » 2019 г. Протокол № 8

Председатель УМК

/Чумак В.В./

И.о. зав. кафедрой

/Ловцов С.В./

Иркутск 2019 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.....	4
5. Содержание дисциплины (модуля)	5
6. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ.....	6
7. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии).....	7
8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля).....	7
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля).....	8
10. Образовательные технологии	8
11. Оценочные средства (ОС)	8

1. Цели и задачи дисциплины (модуля)

Одним из направлений модернизации российского образования является *интеграция* дисциплин естественнонаучного цикла. Данный курс соответствует этой концепции.

Цель программы - подготовка специалистов в области физики элементарных частиц, квантовой теории поля, физики космических лучей, космологии.

Задачи курса:

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

2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП

Дисциплина «Квантовая электродинамика» относится к вариативной части математического и естественнонаучного цикла дисциплин. Указанная дисциплина является основой таких научных дисциплин как «Нейтринная астрофизика», «Физика космических лучей», «Гравитация и космология» и т.п. Поэтому изучение этой дисциплины является неотъемлемой частью образовательного цикла по кафедре теоретической физики. Курс перебрасывает мост от таких общеобразовательных предметов к спецкурсам по указанным выше дисциплинам.

Изучение данной дисциплины опирается на знания, полученные при изучении дисциплин: «Высшая математика», «Атомная физика», «Теоретическая физика», «Ядерная физика» и «Взаимодействие излучений с веществом», «Теория групп».

Неотъемлемой частью курса являются практические семинарские занятия. Решение большого числа задач различной трудности позволяет студентам не только закрепить и расширить сведения, полученные на лекциях, но и приобрести первоначальный опыт самостоятельной работы над научными проблемами.

Программа курса ориентирована на тематику научных исследований, развиваемых на кафедре теоретической физики и в Объединенном Институте Ядерных Исследований (г. Дубна).

3. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля)

Согласно ФГОС аспирант по направлению «Физика и астрономия» должен обладать рядом общекультурных и профессиональных компетенций (ОПК, ПК и УК). Дисциплине «Квантовая электродинамика» соответствуют следующие из них:

- Способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта (ПК-1);
- владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности (ПК-2);
- владение новыми методами и методологическими подходами необходимыми для участия в научно-инновационных исследованиях и инженерно-технологической деятельности (ПК-3).

В результате изучения курса «Квантовая электродинамика» аспиранты должны

знать:

- основные экспериментальные факты, лежащие в основе КЭД;
- основные идеи, связанные с калибровочной симметрией;
- общие методы построения калибровочных теорий;

уметь:

- вычислять древесные электродинамические эффекты;
- делать оценки наблюдаемых эффектов;
- вычислять петлевые поправки;

иметь представление:

- об основных типах взаимодействий и методах вычислений в квантовой теории поля;
- об основных применениях квантовой электродинамики;
- об основных проблемах квантовой теории поля;

быть готовым к самостоятельному проведению исследований, использованию информационных технологий для решения научных и профессиональных задач

4. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Курсы			
		1	2	3	4
Аудиторные занятия (всего)	24		24		
В том числе:				-	-
Лекции	12		12		
Практические занятия (ПЗ)	12		12		
Семинары (С)					
Лабораторные работы (ЛР)					
КСР					
Самостоятельная работа (всего)	48		48		
В том числе:				-	-
Курсовой проект (работа)				-	-
Расчетно-графические работы					
Реферат (при наличии)					
<i>Другие виды самостоятельной работы</i>					
Вид промежуточной аттестации (зачет, экзамен)	зачет		зачет		
Общая трудоемкость: часы зачетные единицы	72		72		
	2		2		

5. Содержание дисциплины (модуля)

5.1. Содержание разделов и тем дисциплины (модуля)

Тема 1. Лагранжиан квантовой электродинамики. Калибровочный принцип. Квантование электромагнитного поля. Фиксация калибровки. S-матрица.

Тема 2. Инвариантная теория возмущений. Диаграммная техника. Вероятности и сечения.

Тема 3. Реакции с поляризованными частицами. Поляризационные матрицы плотности. Спиральные амплитуды, инвариантные амплитуды.

Тема 4. Процессы во внешних полях. Рассеяние электрона на ядре. Формфакторы электрона и протона.

Тема 5. Процессы рассеяния и рождения пар. Превращение электрон-позитронной пары в пару мюонов, в пару пионов. Рассеяние электронов и позитронов на электроне. Нерелятивистский предел. Уравнение Брейта.

Тема 6. Тормозное излучение во внешнем поле. Приближение мягких фотонов. Инфракрасная катастрофа и ее физический смысл.

Тема 7. Радиационные поправки. Ультрафиолетовые расходимости и перенормировки. Способы регуляризации.

Тема 8. Перенормированные функции Грина. Массовый m поляризационный операторы. Перенормировка волновых функций и массы. Перенормировка вершины.

Тема 9. Метод эквивалентных фотонов. Рождение пары фотоном во внешнем поле. Тормозное излучение. Область существенных прицельных параметров.

Тема 10. Процессы на встречных электрон-позитронных пучках. Тормозной и двухфотонный механизмы рождения.

Тема 11. Расчеты однопетлевых графиков в КЭД. Поправки к рассеянию электрона внешним полем. Правило Кутковского.

Тема 12. Ренормгрупповые уравнения. Проблема нуля заряда. Эффективный заряд.

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

«Квантовая электродинамика» является основой таких научных дисциплин как Нейтринная астрофизика, Стандартная модель, Функциональные методы квантовой теории калибровочных полей и т.п. Поэтому изучение этой дисциплины является неотъемлемой частью образовательного цикла по кафедре теоретической физики. Курс перебрасывает мост от таких общеобразовательных предметов к спецкурсам по указанным выше дисциплинам.

№ п/п	Наименование обеспечиваемых (последующих) дисциплин	№ № разделов и тем данной дисциплины, необходимых для изучения обеспечиваемых (последующих) дисциплин
1.	Нейтринная астрофизика	Темы 2,10
2.	Стандартная модель	Темы 3,4,7
3.	Функциональные методы квантовой теории калибровочных полей	Темы 2, 5,6

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

№ п/п	Наименование темы	Виды занятий в часах					
		Лекции и	Практ. зан.	Семина.	Лаб. Зан.	СРС	Всего
1	Лагранжиан квантовой электродинамики.	1	-	-	-		1
2	Инвариантная теория возмущений.	1	1	-	-	4	6
3	Реакции с поляризованными частицами.	1	1	-	-	2	4
4	Процессы во внешнем поле	1	1	-	-	4	6
5	Процессы рассеяния и рождения пар.	1	2			4	7
6	Тормозное излучение во внешнем поле.	1	1	-	-	4	6
7	Радиационные поправки.	1	1	-	-	4	6
8	Перенормированные функции Грина.	1	-	-	-	4	5
9	Метод эквивалентных фотонов.	1	1	-	-	4	6
10	Процессы на встречных электрон-позитронных пучках.	1	2	-	-	6	9
11	Расчеты однопетлевых графиков в КЭД.	1	2	-	-	6	9
12	Ренормгрупповые уравнения.	1	-	-	-	6	7

6. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ

№ п/п	№ темы дисциплины (модуля)	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Трудоемкость (часы)	Оценочные средства	Формируемые компетенции
1	2	3	4	5	6
1.	Тема 2	Инвариантная теория возмущений.	1	Задание на семинаре	ПК-1,2,3
2.	Тема 3	Реакции с поляризованными частицами.	1	Задание на семинаре	
3.	Тема 4	Процессы во внешнем поле	1	Задание на семинаре	
4.	Тема 5	Процессы рассеяния и рождения пар.	2	Задание на семинаре	
5.	Тема 6	Тормозное излучение во внешнем поле.	1	Контрольная работа	
6	Тема 7	Радиационные поправки.	1	Задание на семинаре	
7	Тема 9	Метод эквивалентных фотонов.	1	Задание на семинаре	
8.	Тема 10	Процессы на встречных электрон-позитронных пучках.	2	Контрольная работа	
9.	Тема 11	Расчеты однопетлевых графиков в КЭД.	2	Задание на семинаре	

7. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии)

Курсовые работы не планируются.

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)

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) *программное обеспечение:* стандартные сервисы глобальной сети Интернет.

г) *базы данных, информационно-справочные и поисковые системы*

- Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU, более 10 полнотекстовых версий научных журналов по тематике курса
- Информационная система доступа к российским физическим журналам и обзорам ВИНТИ (<http://www.viniti.ru>)
- Архив научных статей (<http://arxiv.org>.)

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Методическим оформлением курса является использование современных образовательных технологий: информационных (лекции и презентации в Power Point), проектных (мультимедиа, видео, документальные фильмы). Внедрение глобальной компьютерной сети в образовательный процесс позволяет обеспечить доступность Интернет-ресурсов.

Материалы: научные статьи и монографии из рецензируемых журналов, рассматривающие современные подходы и исследования в физике элементарных частиц.

10. Образовательные технологии

Задачи изложения и изучения дисциплины реализуются в следующих формах деятельности:

- **лекции**, нацеленные на получение необходимой информации, и ее использование при решении практических задач;
- **практические занятия**, направленные на активизацию познавательной деятельности студентов и приобретения ими навыков решения практических и проблемных задач;
- **консультации** – еженедельно для всех желающих студентов;
- **самостоятельная внеаудиторная работа** направлена на приобретение навыков самостоятельного решения задач по дисциплине;
- **текущий контроль** за деятельностью студентов осуществляется на лекционных и практических занятиях в виде самостоятельных работ.

11. Оценочные средства (ОС)

11.1. Оценочные средства для входного контроля

Для изучения данного курса студент должен знать основы физики и информатики, уметь пользоваться стандартными поисковыми сервисами сети Интернет. Входной контроль знаний не проводится.

11.2. Оценочные средства текущего контроля

Пример практического задания

ЗАДАНИЕ 1

1. Написать матричный элемент диаграммы, содержащей петлевую поправку к фотонному пропагатору.
2. Вычислить сечение электрон-позитронной аннигиляции в два фотона. Исследовать пороговое поведение.

Примерный список устных вопросов:

1. Что такое калибровочная инвариантность?
2. Размерности констант связи в лагранжиане.
3. Что такое массовый оператор?
4. Что такое локальная калибровочная инвариантность?
5. Что такое неабелева симметрия?
6. Что такое формфактор?
7. Что такое контрчлен в лагранжиане?
8. Что такое перенормировка волновой функции?
9. Что такое кроссинг-симметрия?
10. Как выглядит поляризационная матрица плотности фермиона?
11. Что такое спиральная амплитуда?
12. Как восстанавливается петлевая функция по скачку?
13. Способы регуляризации.
14. Что такое представление взаимодействия?

11.3. Оценочные средства для промежуточной аттестации

Примерный список 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-Манна – Лоу.
26. Нуль заряда в КЭД.

Разработчики:



профессор, д.ф.-м.н. А.Е. Калошин

Программа рассмотрена на заседании кафедры теоретической физики ИГУ
« 20» марта 2019 г. Протокол № 8

И.о. зав. кафедрой



С.В.Ловцов