

# Квантовая электродинамика

**Лекторы:**

Андрей Волотка

**Ассистент:**

Виктор Иванов

**Язык:**

Русский

**Трудоемкость:**

8 з.е.

**Форма контроля:**

Экзамен

**Образовательная программа:**

Теоретическая и экспериментальная физика

7, 8 семестры

**Пререквизиты:**

Электродинамика

Квантовая механика

Избранные разделы квантовой механики

Лекции (ак.час)*	Практические занятия (ак.час)	Лабораторные занятия (ак.час)
48	64	
*1 академический час = 45 минутам		

Квантовая электродинамика (КЭД) или релятивистская квантовая теория поля электродинамики рассматривается как теория возмущений квантового вакуума и позволяет описывать все явления связанные с взаимодействующими заряженными частицами. КЭД будучи одновременно самой простой и самой успешной квантово-полевой теорией позволяет обучить студентов математическому и физическому языкам квантовой теории поля, проиллюстрировав их применение на конкретных примерах. В результате обучения студенты научатся строить и рассчитывать амплитуды процессов взаимодействия, овладеют диаграммной техникой Фейнмана, познакомятся с основными положениями «Стандартной Модели». В настоящее время методы квантовой теории поля нашли обширное применение во многих областях физики, в частности, в таких разделах как ядерная физика или физика конденсированного состояния квантово-полевые методы зарекомендовали себя как очень эффективный инструмент для решения множества задач. Поэтому освоение этих методов в рамках данного курса является необходимым условием для понимания материала последующих курсов.

# Содержание курса

7, 8 семестр

## Квантовая электродинамика

### Структура курса

Разделы	Лекции (ак.ч.)	Практики (ак.ч.)
<b>I. Раздел. Введение.</b>		
1. Лекция. Основные принципы волновой теории электромагнетизма. Распространение электромагнитных волн. Плотность состояний. Ультрафиолетовая катастрофа.	2	2
<b>II. Раздел. Электромагнитное поле.</b>		
2. Лекция. Потенциалы электромагнитного поля. Калибровки. Функция Лагранжа. Уравнения Эйлера-Лагранжа. Теорема Нетер. Тензоры энергии-импульса и момента количества движения. 3. Лекция. Разложение потенциалов на плоские волны. Гармонический осциллятор. Мода поля как осциллятор. 4. Лекция. Квантование одной моды. Квантование электромагнитного поля. 5. Лекция. Необходимость вакуума. Гармонический осциллятор, взаимодействующий с квантованным электромагнитным полем. 6. Лекция. Спонтанное излучение. Лэмбовский сдвиг. 7. Лекция. Перенормировка Бете. Собственная энергия. Интерпретация Велтона. 8. Лекция. Эффект Казимира: вывод и интерпретация.	10	16
<b>III. Раздел. Поле Клейна-Гордона-Фока.</b>		
9. Лекция. Лоренц-инвариантность. Поиск Лоренц-инвариантного аналога уравнению Шредингера. Уравнение Клейна-Гордона-Фока. 10. Лекция. Плоско-волновые и общее решения. Закон сохранения заряда и тока. Взаимодействие с электромагнитным полем. Зарядовое сопряжение. 11. Лекция. Шредингеровская форма уравнения Клейна-Гордона-Фока. Интерпретация решений. Волновой пакет. 12. Лекция. Zitterbewegung. Парадокс Клейна.	8	8
<b>IV. Раздел. Поле Дирака.</b>		
13. Лекция. Уравнение Дирака. Предпосылки и вывод. Сохранение заряда и тока. Решение для частицы в покое. Электромагнитное взаимодействие. 14. Лекция. Нерелятивистский предел. Взаимодействие с магнитным полем. Спин. Свободное движение. Ковариантная форма уравнения. Дырочная теория. 15. Лекция. Зарядовое сопряжение. Спектр атома водорода. Релятивистские поправки. Интерпретация вкладов. 16. Лекция. Точное решение уравнения Дирака в кулоновском потенциале.	8	8
<b>V. Раздел. Функции Грина.</b>		
13. Лекция. Уравнение Дирака. Предпосылки и вывод. Сохранение заряда и тока. Решение для частицы в покое. Электромагнитное взаимодействие. 14. Лекция. Нерелятивистский предел. Взаимодействие с магнитным полем. Спин. Свободное движение. Ковариантная форма уравнения. Дырочная теория. 15. Лекция. Зарядовое сопряжение. Спектр атома водорода. Релятивистские поправки. Интерпретация вкладов. 16. Лекция. Точное решение уравнения Дирака в кулоновском потенциале.	8	8
<b>VI. Раздел. Метод функционального интеграла.</b>		
21. Лекция. Функциональный интеграл или интеграл по траекториям. Дискретизация времени. Пропагатор как сумма по всем траекториям. Функциональный интеграл в формализме Лагранжа. 22. Лекция. Вывод уравнения Шредингера из функции Грина в функциональном представлении. Вывод интеграла по траекториям из шредингеровской теории. 23. Лекция. Производящий функционал. Пропагатор как функциональная производная производящего функционала. 24. Лекция. S-матрица. Слабое и сильное асимптотические условия. Редукционная формула в форме функционального интеграла. 25. Лекция. Квантование калибровочных полей методом функционального интеграла. Простой пример: кулоновская калибровка. Метод Фаддеева-Попова.	8	10
<b>VII. Раздел. Квантовая электродинамика.</b>		

<p>26. Лекция. Фейнмановские правила. Кулоновское рассеяние. Формулы Мотта и Резерфорда.</p> <p>27. Лекция. Комптоновское рассеяние. Формулы Клейна-Нишина и Томсона.</p> <p>28. Лекция. Однопетлевые диаграммы. Подсчет ультрафиолетовых расходимостей. Идея перенормировок.</p> <p>29. Лекция. Размерная регуляризация. Выделение расходимостей на примере диаграммы собственной энергии.</p> <p>30. Лекция. Сокращение расходимостей однопетлевых диаграмм конечным набором контрчленов. Тожество Уорда-Такахаша.</p> <p>31. Лекция. Перенормируемая КЭД теория возмущений. Связь перенормируемости и калибровочной инвариантности.</p> <p>32. Лекция. "Бегущая" константа взаимодействия. Асимптотические свойства ряда теории возмущений КЭД.</p>	8	12
--	---	----

## Рекомендуемые ресурсы

1. Дж. Д. Бьеркен, С. Д. Дрелл. "Релятивистская квантовая теория." В 2-х томах: М., Наука, 1978.
2. Н. Н. Боголюбов, Д. В. Ширков. "Введение в теорию квантованных полей." М., Наука, 1984.
3. К. Ициксон, Ж.-Б. Зюбер. "Квантовая теория поля". В 2-х томах: М., Мир, 1984.
4. В. Б. Берестецкий, Е. М. Лифшиц, Л. П. Питаевский. "Квантовая электродинамика". М., Наука, 1989.
5. P. W. Milonni. "The Quantum Vacuum: An Introduction to Quantum Electrodynamics". Academic Press, 1993.
6. C. Meis. "Light and Vacuum. The Wave-Particle Nature of the Light and the Quantum Vacuum through the Coupling of Electromagnetic Theory and Quantum Electrodynamics". World Scientific, 2014.
7. D. M. Gingrich. "Practical Quantum Electrodynamics". CRC Press, 2006.
8. W. Greiner and J. Reinhardt. "Quantum Electrodynamics". Springer, 2009.

## Политика оценивания

### Оценочные средства дисциплины: семинар, устный экзамен, коллоквиум, итоговый экзамен.

В середине семестра проводится коллоквиум, финальная оценка за который складывается из оценки за устный экзамен по теоретическому материалу и оценки по семинарам. Оценки 3, 4 и 5 по семинарам, которые соответствуют 60%, 75% и 90% решенных задач, являются также допуском к экзамену.

В конце семестра проводится экзамен, финальная оценка за который складывается из оценки за устный экзамен по теоретическому материалу и оценки по семинарам.

Оценка по курсу выставляется как средняя из оценок за коллоквиум и экзамен, в случае дробной оценки производится округление в сторону оценки за экзамен.