



## **Аннотация**

Предлагаемый курс посвящен изучению квантовой электродинамики и теории слабых взаимодействий. Особое внимание в курсе уделяется описанию современного состояния физики элементарных частиц как с феноменологической точки зрения, так и в терминах релятивистской теории поля.

### **Лекция 1. Частицы и их взаимодействие в релятивистской квантовой механике**

Функция распространения. Вычисление наблюдаемых величин. Электромагнитное поле

### **Лекция 2. Скалярные частицы**

Свободные релятивистские частицы с массой. Взаимодействие бесспиновых частиц. Взаимодействие бесспиновых частиц с электромагнитным полем

### **Лекция 3. Примеры простейших процессов**

Диаграммы и амплитуды в импульсном представлении. Амплитуды реально наблюдаемых процессов. Манделштамовская плоскость. Комpton-эффект для  $\pi$ -мезона

### **Лекция 4. Частицы со спином $\frac{1}{2}$**

Свободная частица со спином  $\frac{1}{2}$ . Функция Грина электрона. Матричные элементы амплитуд рассеяния для электронов. Взаимодействие электрона с фотоном.

### **Лекция 5. Простейшие процессы электродинамики**

Рассеяние электронов. Связь спина со статистикой. Рассеяние электрона фотоном (Комpton-эффект). Аннигиляция электрон-позитронной пары в два фотона

### **Лекция 6. Электрон во внешнем поле**

Рассеяние электронов во внешнем поле. Тормозное излучение во внешнем поле. Формула Вайцзекера-Вильямса.

### **Лекция 7. Перенормировки**

Симметрии в квантовой электродинамике. Причинность и унитарность. Перенормировка массы электрона. Перенормировка функции Грина фотона. Перенормировка вершинной части. Обобщенное тождество Уорда

### **Лекция 8. Радиационные поправки**

Радиационные поправки к рассеянию электрона во внешнем поле. Уравнение Дирака во внешнем поле. Радиационные поправки к уровням водородоподобных атомов.

### **Лекция 9. Трудности квантовой электродинамики**

Перенормировки и расходимости. Проблема нуля заряда в КЭД

### **Лекция 10. Структура слабых токов**

Левые заряженные токи. Нарушение P- и C-инвариантности. Универсальность заряженного тока. Нейтральный ток.

### **Лекция 10. Распад мюона**

Амплитуда и вероятность распада. Распад поляризованного мюона.

### **Лекция 11. Лептонные распады адронов с сохранением странности.**

Изотопические свойства  $ud$ -тока. Связь векторного  $ud$  с изовектоном электромагнитным током. Слабый заряд. Киральная инвариантность.

### **Лекция 12. Лептонные распады пионов и нуклонов.**

Распады  $\pi \rightarrow \mu\nu$ . Распад  $\pi^+ \rightarrow \pi^0 e^+ \nu$ .  $\beta$ -распад нейтрона. Векторные и аксиальные формфакторы. Вероятность распада и угловые корреляции. Распады  $\Sigma \rightarrow \Lambda e \nu$ .

### **Лекция 13. Лептонные распады K-мезонов и гиперонов.**

Правило  $|\Delta S|=1$  и  $\Delta S = \Delta Q$ . SU(3)- и SU(2)-свойства  $us$ -тока. Лептонные распады K-мезонов и гиперонов.

### **Лекция 14. Нелептонное взаимодействие, изменяющее странность**

Свойства затравочного нелептонного лагранжиана. Учет жестких глюонов. Эффективный нелептонный лагранжиан.

### **Лекция 15. Феноменология нелептонных распадов гиперонов.**

Релятивистски инвариантная и нерелятивистская формы амплитуды. Изотопические амплитуды и правило  $\Delta T=1/2$ . Фазы S- и P-амплитуд. SU(3)-соотношения между амплитудами гиперонных распадов.

### **Лекция 16. Динамика нелептонных распадов гиперонов.**

Кварковые диаграммы. Факторизация внешних диаграмм для распада  $\Lambda \rightarrow p\ell$ . Усиление вклада правых кварков. Распад  $\Lambda \rightarrow n\ell$ . Распады  $\Omega$ -гиперона.

### **Лекция 17. Нелептонные распады K-мезонов.**

$K_1$ - и  $K_2$ -мезоны. Изотопические соотношения и диаграммы для распадов  $K \rightarrow 2\pi$ .  
Распады  $K \rightarrow 3\pi$ .

### **Лекция 18. Нейтральные К-мезоны в вакууме и среде.**

Переходы  $K_1 \leftrightarrow K_2$  и разность масс  $K_1 - K_2$ . Механизм Глешоу-Иллиопулоса-Майани. Осцилляции странности. Регенерация.

### **Лекция 19. Нарушения CP-инвариантности.**

Распад  $K_L \rightarrow \pi^+ \pi^-$ . Другие наблюдавшиеся CP-неинвариантные эффекты. Сверхслабое перемешивание. Нарушение T-инвариантности и дипольный момент нейтрона.

### **Лекция 20. Распады $\tau$ -лептона**

Нейтрино  $\nu_\tau$ . Полулептонные и адронные распады.

### **Лекция 21 Распады очарованных адронов**

Распады с-кварка. Сравнение  $D^+$  и  $D^0$  мезонов. Роль виртуальных глюонов и «зрительных» кварков. Двухчастичные лептонные распады D-мезонов. Переходы  $D^0 \leftrightarrow \bar{D}^0$

### **Лекция 22. Кварки третьего поколения**

Унитарная матрицы  $n \times n$ , матрица девяти кварковых токов. Распады b-кварка. Вклады b и t кварков в смешивание K, B,  $B_s$  и D мезонов. О нарушении CP-инвариантности в смешивании K-мезонов

### **Лекция 23. Взаимодействие нейтрино с электронами**

Кинематика и сечение реакции  $\nu_e \rightarrow \nu_\mu$ . Упругое  $\nu_e$ -рассеяние под действием заряженного тока. Общий вид сечений. Другие проявления  $\nu_e$ -взаимодействия. Рождение мюонной пары под действием нейтрино в кулоновском поле ядра.

### **Лекция 24. Взаимодействие нейтрино с нуклонами**

Партоны. Кинематика и сечения взаимодействия лептонов с партонами. Распределения партонных. Феноменология глубоко неупругих процессов. Партонная модель и квантовая хромодинамика.

### **Лекция 25. Калибровочная инвариантность**

Глобальная абелева симметрия U(1). Глобальная неабелева симметрия SU(2). Локальные симметрии. Как учесть массы?

### **Лекция 26. Спонтанное нарушение симметрии**

Спонтанное нарушение калибровочной абелевой симметрии. О сохранении электрического заряда. Спонтанное нарушение локальной SU(2)-симметрии.

### **Лекция 27. Стандартная модель электрослабого взаимодействия**

Основные черты модели. Массы W- и Z-бозонов. Связь между электрическим зарядом и константами  $g, g'$ . Связь между вакуумным средним и константой Ферми. Масса электрона, других лептонов и кварков.

### **Лекция 28. Нейтральные токи**

Рассеяние электронного нейтрино на электроне. Рассеяние электронного нейтрино на мюоне. Аннигиляция  $e\bar{e} \rightarrow \mu\bar{\mu}$ . Нейтральные токи и взаимодействие нейтрино с нуклонами.

### **Лекция 29. Свойства промежуточных бозонов**

Распады W- и Z-бозонов. Рождение Z-бозонов в электрон-позитронной аннигиляции. Рождение W- и Z-бозонов в pp-столкновениях.

### **Лекция 30. Свойства хиггсовских бозонов**

О массе бозона Хиггса. Роль H-бозона при высоких энергиях. Взаимодействие H-бозона с тяжелыми кварками и глюонами. Взаимодействие H-бозона с W- и Z-бозонами. Общие замечания о хиггсовских бозонах.

#### Литература:

1. В.Н. Грибов, Квантовая электродинамика
2. Л.Б.Окунь, Лептоны и кварки, Наука, М., 1981
3. Д. Перкинс. Введение в физику высоких энергий. Энергоатомиздат, 1991
4. Ф.Клоуз. Кварки и партоны. М.: Мир, 1988
5. Ф.Хелзен, А.Мартин. Кварки и лептоны. Москва, Мир, 1987.
6. Фейнман Р., Взаимодействие фотонов с адронами, Наука, М., 1975
7. Л.Б.Окунь. Физика элементарных частиц. М.: Наука, 1988