

Программа курса лекций  
**Сильные взаимодействия**  
5-й курс, 9-й семестр, 16 лекций (32 часа),  
лектор: Слабоспицкий С.Р.

**Аннотация**

Курс лекций посвящен систематическому изложению современной теории сильных взаимодействий - квантовой хромодинамики и предназначен для студентов, специализирующихся в области экспериментальной физики высоких энергий.

В лекциях изложены основы квантовой хромодинамики как квантовой неабелевой теории поля. Подробно рассматриваются теоретические описания процессов сильного взаимодействия при больших энергиях в рамках теории возмущений. Также представлены непертурбативные методы описания адронной динамики в области малых энергий.

*Лекция 1. Лагранжев формализм для классических полей*

- Лагранжев формализм для классических полей. Теорема Нётер
- заряженное поле. Вектор тока и заряд
- Лагранжиан поля Дирака
- Лагранжиан электромагнитного поля
- калибровочная инвариантность – неабелевы калибровочные поля
- лагранжиан КХД
- правила Фейнмана для КХД

*Лекция 2. Квантование свободных полей*

- сущность процедуры квантования полей
- каноническое квантование свободных полей
- представление Шредингера и Гейзенберга
- релятивистская схема квантования полей

*Лекция 3. Перестановочные соотношения*

- физический смысл частотных компонент
- типы перестановочных соотношений
- квантование по Ферми-Дираку и Бозе-Эйнштейну - связь спина и статистики.
- Теорема Паули

*Лекция 4. Спинорные поля*

- квантование поля Дирака
- безмассовое спинорное поле
- СРТ-теорема
- квантование электромагнитного поля (формализм Гупта-Блейлера)

*Лекция 5. Матрица рассеяния*

- лагранжианы взаимодействия
- теория возмущений
- представление взаимодействия
- матрица рассеяния, хронологические произведения
- общие свойства  $S$ -матрицы
- теоремы Вика, приведение к нормальной форме, хронологическое спаривание

*Лекция 6. Диаграммы и правила Фейнмана*

- функции Грина свободных полей
- переход к импульсному представлению, правила Фейнмана
- общая структура матричных элементов
- общая формула для вероятности переходов. Распады и сечение рассеяния

*Лекция 7. Расходимости в квантовой теории поля*

- причины расходимостей в локальной квантовой теории поля
- физическое обоснование перенормировок
- техника вычисления импульсных интегралов
- методы регуляризации, схемы вычитания расходимостей
- контрчлены и перенормировки

*Лекция 8. Устранение расходимостей*

- расходимости высших порядков
- связь с контрчленами и перенормировки
- пропагаторы физических полей
- высшие функции Грина
- редукционные формулы

*Лекция 9. Перенормировки*

- перенормировка вкладов в функции Грина
- теорема о перенормируемости
- ренормализационная группа
- константы связи в КЭД, КХД, электрослабой теории

*Лекция 10. Перенормировки в КЭД*

- роль калибровочной инвариантности
- пропагатор фотона
- пропагатор электрона
- тождества Уорда-Славнова

*Лекция 11. Перенормировки КХД*

- метод ренормгруппы в КХД
- инвариантный заряд и асимптотическая свобода в КХД
- извлечение бегущей константы связи КХД экспериментальных данных
- асимптотика констант связи в КЭД, КХД, электрослабой теории

*Лекция 12. Модель кваркония*

- потенциал (закон Кулона) в в КЭД и КХД
- модель кваркония. Волновые функции состояний кваркония
- массы мезонов ( $Q\bar{Q}'$ ) и ширины распадов в модели кваркония
- модель образования мезонов ( $Q\bar{Q}'$ ) в столкновениях

*Лекция 13. Примеры вычислений физических процессов*

- $e^+e^-$  - аннигиляция в адроны
- основные “жесткие” подпроцессы в адронных столкновениях
- подпроцессы рождения тяжелых кварков:  $q\bar{q} \rightarrow Q\bar{Q}$  и  $g\bar{g} \rightarrow Q\bar{Q}$

*Лекция 14. Глубоко-неупругое рассеяние* – глубоко-неупругое рассеяние

- нарушение скейлинга в структурных функциях
- уравнения КХД для моментов
- адронизация кварков и глюонов. Функции фрагментации
- модель образования струй. Алгоритмы реконструкции струй

*Лекция 15. Массы кварков. КХД при низких энергиях*

- киральная инвариантность
- частичное сохранение аксиального тока. Массы легких кварков
- распад  $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$
- КХД вакуум
- экзотические связанные состояния: глюболы, гибриды, ...

*Лекция 16. Физика топ-кварков в рамках Стандартной модели*

- свойства топ-кварков, отсутствие топ-адронов
- основные распады и основные механизмы рождения топ-кварков в СМ
- процесс электрослабого рождения топ-кварков
- роль топ-кварков в поисках проявления физики вне рамок СМ