

## Квантовая теория столкновений

Лектор: д.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник, доцент Узиков Юрий Николаевич  
(кафедра физики элементарных частиц физического факультета МГУ)

Код курса:	
Статус:	по выбору
Аудитория:	специальный
Специализация:	Физика элементарных частиц
Семестр:	1
Трудоёмкость:	2 з.е.
Лекций:	36 часов
Семинаров:	0
Практ. занятий:	0
Отчётность:	зачет
Начальные компетенции:	М-ПК-1, М-ПК-6
Приобретаемые компетенции:	М-ПК-3, М-ПК-4

### Аннотация курса

Предметом лекционного курса являются принципы и методы теоретического анализа экспериментальных данных о процессах столкновений частиц и ядер в квантовой механике. Актуальность курса обусловлена, в частности, прогрессом в современной эффективной киральной теории нуклонных сил и ее тестированием в экспериментах по рассеянию и реакциям в малонуклонных системах. В рамках курса студенты познакомятся с описанием простейших релятивистских процессов в бесспиновой и спиновой электродинамике на основе формализма функций Грина, с методами решения задачи рассеяния в нерелятивистской потенциальной теории на основе интегральных и дифференциальных уравнений, а также с диаграммной техникой Фейнмана в теории рассеяния и ядерных реакций.

### Приобретаемые знания и умения

В результате освоения дисциплины обучающийся должен знать основные методы и подходы решения задачи рассеяния в нерелятивистской потенциальной теории на основе интегральных и дифференциальных уравнений, а также с диаграммную технику Фейнмана в теории рассеяния и ядерных реакций.

### Образовательные технологии

Курс имеет электронную версию для презентации. Имеется список задач для самостоятельного решения по основным разделам курса. Лекции читаются с использованием проекционного оборудования и современных мультимедийных возможностей.

### Логическая и содержательно-методическая взаимосвязь с другими частями ООП

Курс является теоретическим базисом к курсам, в которых излагаются экспериментальные данные о взаимодействии частиц с ядрами в области низких и промежуточных энергий.

### Дисциплины и практики, для которых освоение данного курса необходимо как предшествующего

Научно-исследовательская практика, научно-исследовательская работа, дисциплины “Стандартная модель. Прецизионные вычисления”.

### Основные учебные пособия, обеспечивающие курс

1. А.Н. Москалев, Релятивистская теория поля, Санкт-Петербург: ПИЯФ РАН, 2006.
2. В.В. Балашов, Квантовая теория столкновений, Издательство Московского университета, 1985.

### Основные учебно-методические работы, обеспечивающие курс

1. С.Сунакава, Квантовая теория рассеяния, Москва «Мир», 1979.

2. Дж. Тейлор, Теория рассеяния. Квантовая теория нерелятивистских столкновений, «Мир», 1975.
3. А.Г. Ситенко, Лекции по теории рассеяния, Киев, Вища школа, 1971.
4. Ф.Хелзен, А.Мартин, Кварки и лептоны, Москва «Мир», 1987.

**Основные научные статьи, обеспечивающие курс**

1. E. Epelbaum, H.W. Hammer, U.-G. Meissner, Modern Theory of Nuclear Forces // Rev. Mod. Phys. pp.1773-1825, 2009.
2. Yu.N.Uzikov, J.Haidenbauer, Forward antiproton-deuteron elastic scattering and total spin-dependent  $\bar{p}d$  cross sections // Phys. Rev. C, v. 79, pp.024617(1) – 024617(15), 2009
3. Yu.N.Uzikov. Spin observables of the reaction  $pd-^3\text{He}\eta$  and quasi-bound  $^3\text{He}\eta$  pole// Nucl. Phys. A 801, pp.114- 128, 2008.
- 4 Yu.N. Uzikov, 1S0 formation in the  $pd\rightarrow(pp)_n$  reaction and short-range NN interaction// Few Body systems, v.44, pp.211-213, 2008.
5. Yu.N.Uzikov et al. Dynamics of 1S0 diproton formation in the  $pd\rightarrow(pp)_n$  and  $pN\rightarrow(pp)_n\pi$  reactions.// Phys. Rev. C v.75, pp. 014008(1)-014008(10), 2007.

**Контроль успеваемости**

**Промежуточная аттестация** проводится на 8 неделе в форме коллоквиума с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса.

**Текущая аттестация** проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях.

**Структура и содержание дисциплины**

Раздел	Неделя
Современные задачи квантовой теории столкновений. Понятие о современной киральной эффективной теории нуклонных сил.	1
Эффективное поперечное сечение в классической механике. Инвариантное сечение в релятивистской теории. Относительная скорость и относительный импульс	2
Матрица рассеяния. Унитарность. Представление взаимодействия. S –матрица в теории возмущений. Формула Дайсона для S-матрицы.	3
Связь инвариантной амплитуды перехода с инвариантным сечением. Двух-частичный фазовый объем в системе центра масс и в произвольной инерциальной системе отсчета. Сечение бинарной реакции и реакции $1+2\rightarrow 2+3+4$ . Полный трех-частичный фазовый объем. Рекуррентное соотношение для фазовых объемов. Диаграмма Далитца. Уравнение Клейна-Гордона-Фока. Сохраняющийся ток. Интерпретация состояний с отрицательной энергией по Фейнману-Штюкельбергу.	4-5
Функция Грина для уравнения Клейна-Гордона-Фока. Бесспиновый электрон во внешнем электромагнитном поле. Ток перехода.	6
Бесспиновое электрон-мюонное, электрон-электронное и электрон-позитронное рассеяние. Вершинные функции и пропагатор фотона. Симметризация амплитуд перехода. Кроссинг-симметрия.	7

Происхождение фейнмановского пропагатора в старой (упорядоченной по времени) теории возмущений. Уравнение Дирака. Гамма-матрицы. Сохраняющийся ток. Дираковский электрон во внешнем электромагнитном поле. Электрон-мюонное рассеяние в спинорной электродинамике.	8
Решение свободного уравнения Дирака для $E > 0$ и $E < 0$ . Нормировка и полнота состояний. Левые и правые фермионы. Сохранение векторного тока. Киральность и спиральность в пределе высоких энергий. Угловое распределение дифференциального сечения аннигиляции “электрон-позитрон $\rightarrow$ мюон-антимюон” и сохранение спиральности. Процесс Дрелла-Яна. Киральная симметрия КХД и современная теория нуклонных взаимодействий.	9-10
Функция распространения свободной нерелятивистской частицы. Расплывание волновых пакетов. Асимптотическое условие в нестационарной теории рассеяния. Стационарная задача рассеяния. Граничное условие. Вклад интерференционного члена в плотность потока вероятности. Оптическая теорема.	11-12
Интегральное уравнение для волновой функции рассеяния на силовом центре. Функция Грина для гамильтониана свободной частицы. Амплитуда рассеяния. Резольвента. Уравнение для оператора $G(z)$ . Спектральное представление для оператора $G(z)$ и его аналитические свойства. Оператор $T(z)$ . Уравнение Липпмана-Швингера и его формальное решение. Связь между $T$ -оператором и амплитудой рассеяния.	13-14
Единственность решения уравнения Липпмана-Швингера для задачи двух тел. Уравнение для $T$ -оператора в $r$ -пространстве и его решение для сепарабельного потенциала. Столкновения в системе трех тел. Уравнения Фаддеева.	15-16
Метод парциальных волн. Рассеяние на короткодействующем потенциале. Фазовые сдвиги. Длина рассеяния. Амплитуда виртуального распада связанного состояния $A$ на два фрагмента $B$ и $C$ : $A \rightarrow B+C$ . Фейнмановские диаграммы в дисперсионной теории ядерных реакций. Полусная диаграмма для реакции $p+d \rightarrow p+p+n$ . Треугольная диаграмма для механизма однократного $pN$ рассеяния процесса $pd-pd$ . Борновское приближение. Эйкональное приближение. Рассеяние на абсолютно черной сфере. Дифракционная теория многократного рассеяния Глаубера-Ситенко.	17-18