

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
ФИЛИАЛ МГУ В Г. ДУБНЕ



УТВЕРЖДАЮ
И.о. директора
филиала МГУ в г.Дубне
/ Э.Э. Боос /
«14» _____ 09 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины:

Введение в квантовую теорию столкновений

Уровень высшего образования:

Магистратура

Направление подготовки:

03.04.02 Физика

Направленность (профиль) ОПОП:

Физика элементарных частиц

Форма обучения: Очная форма обучения

Дубна 2022 г.

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки программы магистратуры 03.04.02 «Физика».

Год (годы) приема на обучение _____

Авторы–составители:

1. Доктор физ.-мат. наук, доцент Узиков Юрий Николаевич, профессор физического факультета МГУ по совместительству

Руководитель магистерской программы:

Доктор физ.-мат. наук, профессор академик РАН В.А. Матвеев, заведующий кафедрой физического факультета МГУ

Аннотация к рабочей программе дисциплины «Введение в квантовую теорию столкновений»

Предметом курса являются принципы и методы теоретического анализа экспериментальных данных о процессах столкновений частиц и ядер в квантовой механике. 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.

Разделы рабочей программы

1. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы высшего образования (ОПОП ВО).
2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (при наличии)
3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с формируемыми компетенциями
4. Формат обучения.
5. Язык обучения.
6. Содержание дисциплины.
7. Объем дисциплины
8. Структурированное по темам (разделам) содержание дисциплины (модуля) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий
9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.
10. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).
11. Шкала оценивания.
12. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.
13. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.
14. Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение и информационные справочные системы

1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Дисциплина «Введение в квантовую теорию столкновений» реализуется на 1-ом курсе во 2-ом семестре магистратуры и входит в состав профессионального блока вариативной части.

2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия

Базовые знания в области общей и теоретической физики в объеме классических университетских курсов

3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с формируемыми компетенциями

В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора (индикаторов) достижения компетенции	Результаты обучения
МПК-1 Способен решать практические задачи профессиональной деятельности в области физики элементарных частиц на основе фундаментальных знаний	ИМПК-1.1 знает основные разделы физики элементарных частиц: сильные, электромагнитные, слабые взаимодействия, симметрии в физике частиц	З-1 Знать: основные теории и методы, приводящие к квантовой теории столкновений и используемые в ней. У-1 Уметь: применять различные уравнения и теории для описания и решения задач квантовой теории столкновений. В-1 Владеть: знаниями линейной алгебры и иных разделов высшей математики, используемых в квантовой теории столкновений.

2. **Форма обучения:** очная.

3. **Язык обучения:** русский.

4. **Содержание дисциплины**

Тема 1. Сечение рассеяния в классической механике.

Инвариантное сечение. Сечение рассеяния в классической механике. Диаграмма импульсов для бинарного процесса $1+2 \rightarrow 3+4$. Преобразование дифференциального сечения из одной инерциальной системы отсчета в другую. Элементы релятивистской кинематики. Инвариантная амплитуда, ее связь с сечением, фазовые объемы.

Тема 2. Неприменимость классической механики.

Неприменимость классической механики при больших прицельных параметрах. Стационарная теория рассеяния на силовом центре: граничные условия, свободная функция Грина, амплитуда рассеяния. Метод парциальных волн. S-матрица, фазовые сдвиги. Оптическая теорема. Уравнение Липпмана-Швингера в задаче двух тел. Разложение интегрального уравнения по парциальным волнам. Рассеяние на короткодействующем потенциале. Длина рассеяния. Приближение эффективного радиуса. Резонансное рассеяние. Временная задержка. Формулы Брейта и Вигнера. Интерференция резонанса с фоном. Пример: дельта-резонансная модель пион-нуклонного рассеяния.

Тема 3. Особенности дифракционного рассеяния.

Борновское приближение. Эйкональное приближение. Рассеяние на абсолютно черной сфере. Основные особенности дифракционного рассеяния. Полная функция Грина, T-оператор.

Тема 4. Нестационарная теория столкновений.

Нестационарная теория столкновений. Операторы Мёллера, S-матрица. Дифференциальное сечение потенциального рассеяния в нестационарной теории.

Тема 5. S-матрицы.

Аналитичность S-матрицы. Теорема Левинсона. Плоскость комплексных моментов.

Тема 6. Диаграммная техника.

Дисперсионная теория ядерных реакций. Диаграммная техника. Вершинная функция виртуального процесса $\{12\} \rightarrow 1+2$. Расчет полюсной и треугольной диаграмм на примере упругого протон-дейтронного рассеяния.

Тема 7. Теория многократного рассеяния.

Теория многократного рассеяния Глаубера-Ситенко. Пример: упругое и неупругое рассеяние протона на дейтроне. Приближение полноты в неупругом pd -рассеянии. Понятие обобщенного оптического потенциала. Приближение искаженных волн. Рассеяние на двух потенциалах. Взаимодействие в конечном состоянии. Уравнения Фаддеева.

Тема 8. Система бесконечного импульса.

Система бесконечного импульса. Амплитуда реакции $1+\{23\} \rightarrow 1+2+3$ в динамике светового фронта в борновском приближении.

Тема 9. Поляризационные наблюдаемые.

Поляризационные наблюдаемые. Спиновая матрица плотности. Свойства спин-тензорных операторов. Спиновая структура амплитуд реакций $\frac{1}{2}+0 \rightarrow \frac{1}{2}+0$, $\frac{1}{2}+1 \rightarrow \frac{1}{2}+0$, $\frac{1}{2}+1/2 \rightarrow 0+0$ при сохранении четности и углового момента. Сигма-представление. Случай коллинеарной кинематики. Представление спиральных амплитуд. D-функции Вигнера. Угловое распределения продуктов сильного распада бариона (мезона) на две и три частицы и его связь с матрицей плотности начального состояния. Полный поляризационный эксперимент.

7. Объем дисциплины

НАЗВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	Трудоемкость	объем учебной нагрузки в ак. часах
---------------------	--------------	------------------------------------

	в зачетных единицах	Общая трудоемкость	в том числе ауд.занятий				Самостоятельная работа студентов
			Общая аудиторная нагрузка	Лекций	Семинаров	Учебно-практические занятия	
Введение в квантовую теорию столкновений	3	108	34	17	17		74

8. Структурированное по темам (разделам) содержание дисциплины (модуля) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

Изучение курса «Введение в квантовую теорию столкновений» включает в себя лекции, на которых рассматривается теоретическое содержание курса; семинарские занятия, предусматривающие углубленное изучение и обсуждение вопросов, обозначенных в темах дисциплины; самостоятельную работу, заключающуюся в подготовке к лекционным и семинарским занятиям. Темы, рассматриваемые на лекциях и изучаемые самостоятельно, закрепляются на семинарских занятиях, по вопросам, вызывающим затруднения, проводятся консультации.

№ темы		Виды учебной нагрузки и их трудоемкость, часы					Самостоятельная работа	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации
		Всего часов	Лекции	Семинары	Учебно-практические занятия (лабораторные или практические занятия)	Самостоятельная работа		
1	Сечение рассеяния в классической механике	10	1	1		8		
2	Неприменимость классической механики	12	2	2		8		
3	Особенности дифракционного рассеяния	12	2	2		8		
4	Нестационарная теория столкновений	12	2	2		8		
5	S-матрицы	12	2	2		8		

6	Диаграммная техника	12	2	2		8	
7	Теория многократного рассеяния	12	2	2		8	
8	Система бесконечного импульса	12	2	2		8	
9	Поляризационные наблюдаемы	8	2	2		4	
	Промежуточная аттестация	6				6	экзамен
ИТОГО:		108	1 7	1 7		74	

ДЗ- домашнее задание, Оп- опрос, КР- контрольная работа, Т- тестирование, Реф - реферат

9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.

Текущий контроль по дисциплине «Введение в квантовую теорию столкновений» осуществляется на лекциях и семинарских занятиях и заключается в оценке активности и качества участия в опросах и собеседованиях по проблемам, изучаемых в рамках тем лекционных занятий, аргументированности позиции; оценивается широта используемых теоретических знаний.

Промежуточная аттестация по дисциплине «Введение в квантовую теорию столкновений» проводится во втором семестре в форме экзамена.

Результаты сдачи экзамена оцениваются по шкале «неудовлетворительно», «удовлетворительно», «хорошо», «отлично». Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

10. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).

Перечень оценочных средств, применяемых на каждом этапе проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине, представлены в таблице

Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в фонде
Оценочные средства текущего контроля		
Тематический опрос (в форме ответов на вопросы)	Средство контроля, организованное как специальная беседа по тематике предыдущей лекции и рассчитанное на выяснение объема и качества знаний, усвоенных обучающимися по определенному разделу, теме, проблеме.	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины
Собеседование (в форме беседы, дискуссии по теме)	Средство контроля, организованное как свободная беседа, дискуссия по тематике изучаемой дисциплины, рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по всем изученным разделам, темам; свободного использования терминологии для аргументированного выражения собственной позиции.	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины

Тестирование	Средство контроля, позволяющее получить оценку уровня фактических знаний аспиранта по изученной теме.	Образцы тестов
Оценочные средства промежуточной аттестации		
Письменная работа	Средство, позволяющее оценить сформированность систематических представлений о методах научно-исследовательской деятельности.	Перечень вопросов к экзамену
Собеседование	Средство, позволяющее получить экспертную оценку знаний, умений и навыков по для оценивания и анализа различных фактов и явлений в своей профессиональной области.	Требования к порядку проведения собеседования

11. Шкала оценивания.

Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения			
	2/ неудовлетворительно	3/ удовлетворительно	4/ хорошо	5/ отлично
ЗНАТЬ: основные теории и методы, приводящие к квантовой теории столкновений и используемые в ней ИМПК-1.1	Отсутствие знаний основных теорий и методов, приводящих к квантовой теории столкновений и используемых в ней	В целом успешные, но не систематические знания основных теорий и методов, приводящих к квантовой теории столкновений и используемых в ней	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знания основных теорий и методов, приводящих к квантовой теории столкновений и используемые в ней	Успешные и систематические знания основных теорий и методов, приводящих к квантовой теории столкновений и используемых в ней
УМЕТЬ: применять различные уравнения и теории для описания и решения задач квантовой теории столкновений ИМПК-1.1	Отсутствие умения применять различные уравнения и теории для описания и решения задач квантовой теории столкновений	В целом успешное, но не систематическое умение применять различные уравнения и теории для описания и решения задач квантовой теории столкновений	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение применять различные уравнения и теории для описания и решения задач квантовой теории столкновений	Успешное и систематическое умение применять различные уравнения и теории для описания и решения задач квантовой теории столкновений
ВЛАДЕТЬ: знаниями линейной алгебры и иных разделов высшей математики, используемых в квантовой теории столкновений ИМПК-1.1	Отсутствие/фрагментарное владение знаниями линейной алгебры и иных разделов высшей математики, используемых в квантовой теории столкновений	В целом успешное, но не систематическое владение знаниями линейной алгебры и иных разделов высшей математики, используемых в квантовой теории столкновений	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение знаниями линейной алгебры и иных разделов высшей математики, используемых в квантовой теории столкновений	Успешное и систематическое владение знаниями линейной алгебры и иных разделов высшей математики, используемых в квантовой теории столкновений

12. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.

Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся

Пример:

Вопросы по теории:

1. Условия неприменимости классической механики
2. Примеры поляризационных наблюдаемых

13. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.

Экзамен проводится в виде письменной работы с последующим собеседованием по изучаемым темам.

Материалы промежуточной аттестации обучающихся

Вопросы к экзамену:

1. Сечение рассеяния в классической механике. Зависимость угла рассеяния на силовом центре от потенциала и прицельного параметра. Примеры: абсолютно твердая сфера, кулоновский потенциал. Диаграмма импульсов для бинарного процесса.
2. Инвариантное сечение. Относительная скорость. Относительный импульс.
3. Сохраняющийся ток для решений уравнения Клейна-Гордона-Фока и нормировка состояний свободных бесспиновых частиц. Инвариантная амплитуда и ее связь с сечением. Скорость распада и инвариантная амплитуда.
4. Инвариантный дифференциальный фазовый объем в произвольной ИСО. Двух- и трех-частичный фазовые объемы. Рекуррентное соотношение для фазовых объемов. Дифференциальные сечения реакций $1 + 2 \rightarrow 3 + 4$ и $1 + 2 \rightarrow 3 + 4 + 5$.
5. Связь между дифференциальными сечениями в ц- и л-системах. Общий метод преобразования распределений. Диаграмма Далитца.
6. Неприменимость классической механики при рассеянии под большими прицельными параметрами.
7. Нормировка, условие полноты и число состояний в элементе фазового объема для плоских волн.
8. Стационарная задача рассеяния на силовом центре в квантовой механике. Граничное условие. Амплитуда рассеяния и ее связь с сечением. Сохранение вероятности с учетом интерференции падающей и рассеянной волн. Оптическая теорема.
9. Интегральное уравнение для волновой функции рассеяния. Функция Грина для свободного движения. Амплитуда рассеяния.
10. Оператор Грина $G(z)$, его спектральное представление и аналитические свойства. Уравнение для $G(z)$ -оператора.
11. Уравнение Липпмана-Швингера для волновой функции.

12. Оператор перехода $T(z)$: определение, интегральное уравнение. Связь матричных элементов оператора T с амплитудой рассеяния.
13. Решение уравнения для $T(z)$ с сепарабельным потенциалом.
14. Борновское приближение. Условия применимости. Угловая и энергозависимость рассеяния быстрых частиц на потенциале конечного радиуса. Пример: рассеяние на потенциале Юкавы.
15. Кулоновское рассеяние. Формула Резерфорда. Упругий зарядовый форм- фактор. Разложение по степеням переданного импульса q .
16. Амплитуда рассеяния, дифференциальное и полное сечения в методе парциальных волн.
17. Фаза рассеяния. Рассеяние на короткодействующем потенциале. Вычисление фазы рассеяния методом сшивания на границе.
18. К-матрица. Приближение эффективного радиуса.
19. Рассеяние на абсолютно твердой сфере в пределе низких и высоких энергий.
20. Рассеяние на прямоугольной потенциальной яме. Резонанс. Волновая функция распадающегося состояния в E — представлении. Связь ширины резонанса с поведением фазы рассеяния.
21. Аналитичность S-матрицы и принцип причинности. Дисперсионное соотношение для амплитуды рассеяния на нулевой угол.
22. Эйкональное приближение, условия его применимости. Эйкональная фаза, функция профиля, амплитуда рассеяния.
23. Основные особенности дифракционного рассеяния. Рассеяние на абсолютно черной сфере в эйкональном приближении. Теория многократного рассеяния Глаубера- Ситенко.
24. Унитарность S-матрицы для многоканальной системы.
25. Рассеяние тождественных частиц.

14. Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение и информационные справочные системы

Основная литература

1. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Теория поля. Курс теоретической физики т.2, М. Наука, 1980.
2. Дж. Тейлор, Теория рассеяния. Квантовая теория нерелятивистских столкновений. М. Мир, 1975.
3. Л.Д Ландау, Е.М. Лифшиц. Квантовая механика. Нерелятивистская теория, М. Наука, 1974.
4. В.Б. Берестецкий, Е.М. Лифшиц, Л.П. Питаевский, Квантовая электродинамика, М. Наука, 1989.
5. В.В. Балашов, Квантовая теория столкновений, МГУ, 1985.
6. А.Г. Ситенко, Лекции по теории рассеяния, Киев, 1971.
7. Г.Д. Алхазов, В.В. Анисович, П.Э. Волковицкий. Дифракционное взаимодействие адронов с ядрами при высоких энергиях, Л. Наука, Ленинградское отд, 1991.
8. А.Г. Ситенко. Теория ядерных реакций, М. Энергоатомиздат, 1983.
9. С. Сунакава. Квантовая теория рассеяния. Перевод с японского, М. Мир, 1979.
10. А.Б. Мигдал, Качественные методы в квантовой теории, М. Наука, 1975.
11. Ch.J. Joachain, Quantum Collision theory, North-Holland Publ.Comp. Amsterdam, 1975.

12. К. Блум, Теория матрицы плотности и ее приложения. Перевод с английского, М. Мир, 1983.
13. Т. Ерикссон, В. Вайзе. Пионы и ядра. Перевод с английского. М. Наука, 1991.

При реализации дисциплины может быть использовано следующее программное обеспечение:

1. Операционная система Astra Linux (<https://astralinux.ru/>) или аналог, с офисным пакетом, с пакетами разработчика.

Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем

1. База данных РИНЦ (российский индекс научного цитирования) <http://www.elibrary.ru>
2. Сайт кафедры <https://msu-dubna.ru/hep>

Материально-техническое обеспечение

В соответствии с требованиями п. 5.3. образовательного стандарта МГУ по направлению подготовки «Физика», курс может быть прочитан в поточной аудитории при наличии: работающих электрических розеток, компьютера, проектора, экрана, учебной доски.