

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Физический факультет

УТВЕРЖДЕНО:  
Декан  
С. Н. Филимонов

Рабочая программа дисциплины

**Квантовая теория рассеяния**

по направлению подготовки

**03.04.02 Физика**

Направленность (профиль) подготовки:  
**Фундаментальная и прикладная физика**

Форма обучения  
**Очная**

Квалификация  
**Магистр**

Год приема  
**2025**

СОГЛАСОВАНО:  
Руководитель ОП  
О.Н. Чайковская

Председатель УМК  
О.М. Сюсина

Томск – 2025

## **1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины**

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ПК-1 Способен самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИПК-1.1 Знает основные стратегии исследований в выбранной области физики, критерии эффективности, ограничения применимости

ИПК-1.2 Умеет выделять и систематизировать основные цели исследований в выбранной области физики, извлекать информацию из различных источников, включая периодическую печать и электронные коммуникации, представлять её в понятном виде и эффективно использовать

## **2. Задачи освоения дисциплины**

– Освоить понятийный аппарат квантовой теории рассеяния.

– Научиться применять аппарат квантовой теории рассеяния для анализа решений практических задач профессиональной деятельности.

## **3. Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина относится к Блоку 1 «Дисциплины (модули)».

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор.

## **4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине**

Семестр 7, дифференцированный зачёт.

## **5. Входные требования для освоения дисциплины**

Для успешного освоения дисциплины требуются компетенции, сформированные в ходе освоения образовательных программ предшествующего уровня образования.

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: физика (механика, термодинамика, электростатика и электродинамика, статистическая физика), квантовая механика, атомная физика, физика атомного ядра и элементарных частиц, линейная алгебра и аналитическая геометрия, математический анализ.

## **6. Язык реализации**

Русский

## **7. Объем дисциплины**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 часов, из которых:

– лекции: 32 ч.;

– практические занятия: 16 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

## **8. Содержание дисциплины, структурированное по темам**

Тема 1. Введение.

Стационарная и не стационарная теория рассеяния. Классическая картина рассеяния. Построение и размытие волнового пакета со временем.

Тема 2. Одночастичный оператор рассеяния.

Квантовое описание рассеяния. Асимптотические состояния. Ортогональность и полнота. Асимптотическое условие. Операторы Мёллера.

Тема 3. Свойства S-матрицы.

Сохранение энергии. Трансляционная инвариантность. Инвариантность относительно вращений. Парциальные разложения. Чётность. Обращение времени.

Тема 4. Строгая теория рассеяния

Регулярные и нерегулярные решения. Функции Иоста. Аналитические свойства функции Иоста и S-матрицы. Аналитические продолжения решений на комплексную плоскость. Физический лист.

Тема 5. Полюса S-матрицы.

Связь нулей функций Иоста и полюсов S-матрицы. Связанные состояния. Теорема Левинсона. Резонансные и виртуальные состояния. Резонансный фазовый сдвиг. Первый и второй лист энергий. Отставание рассеянной волны от нерассеянной.

Тема 6. Уравнения Липпмана-Швингера.

G – операторы. Уравнений ЛШ для функций Грина. Связь состояний рассеяния с in/out асимптотиками. Связь функций Грина с Мёллеровскими операторами. Эйлеров предельный переход. Уравнения Липпмана-Швингера для T-матрицы. Уравнения ЛШ для парциальных компонент T-матрицы. Уравнения ЛШ для резонансных и виртуальных состояний.

Тема 7. Рассеяние на двух потенциалах.

Двухпотенциальный подход. Кулоновское рассеяние в импульсном представлении с экранированным и азимутальным потенциалами. Методы решения уравнений ЛШ с кулоновским взаимодействием. Одновременный учёт кулоновского дальнего взаимодействия и сильного короткодействующего.

Тема 8. Многоканальное рассеяние. Формальный подход.

Каналы. Асимптотические состояния. Многочастичный оператор рассеяния. Многоканальные уравнения Липпмана-Швингера. Полюсная структура. Формальный подход в теории рассеяния. Вероятность перехода.

Тема 9. Точные методы малочастичной динамики.

Уравнения Фаддеева для состояний рассеяния и T-матрицы. Уравнения АГС. Логарифмические сингулярности. Методы парциально-волнового разложения и прямого интегрирования. Обобщение уравнений на произвольное число частиц.

Тема 10. Некоторые приближённые методы.

Борновское приближение. Рассеяние на короткодействующем потенциале. Кулоновское рассеяние. Вариационные расчёты (метод Швингера). Вычислительная химия (разнообразие методов пост Хартри-Фока).

Тема 11. Обратная задача рассеяния.

Преобразование Штурма-Лиувилля. Уравнение Гельфанда-Левитана. Уравнение Марченко. Обратная задача на конечном интервале. Некоторые точно решаемые модели обратной задачи.

Тема 12. Концепция встряски.

Встряска типа рассеяния. Внезапная перестройка медленной системы. Встряска типа включения. Параметрическая встряска гармонического осциллятора. Внезапное ускорение тяжёлой подсистемы. Внезапная перестройка атомного потенциала. Многообразие проявлений встряски.

## 9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, проведения контрольных работ и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр. Оценочные материалы текущего контроля размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» – <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>.

## 10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

**Зачет с оценкой в 7 семестре** проводится в письменной форме по билетам. Продолжительность дифференцированного зачёта 1.5 часа.

Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» – <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>.

## 11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» - <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=21881>

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине (<https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>).

в) Перечень практических работ:

1) Доказать, что если масса системы в процессе  $a + (bc) \rightarrow a + (bc)^*$  стремиться к бесконечности, то вероятность возбуждения стремиться к нулю;

2) Нахождение амплитуды рассеяния при заданном модельном сферическом потенциале;

3) Нахождение точного решения уравнения Липпмана-Швингера с заданным сепарабельным потенциалом. Сравнение численного решения с аналитическим;

4) Доказать асимптотическое условие для одночастичного оператора энергии сепарабельного вида, взяв в качестве пробных функций гауссоиду.

5) Найти выражение для парциального полного сечения в резонансной точке когда фоновый фазовый сдвиг не равен нулю.

6) Найти в случае прямоугольной потенциальной ямы s-волновой фазовый сдвиг. Показать, что в случае очень глубокой ямы существуют регулярно расположенные низкоэнергетические s-волновые резонансы. Найти ширину этих резонансов.

7) Для потенциалов типа Юкавы найти первое и второе борновское приближение для амплитуды. Для нахождения второго борновского приближения предположить, что относительные импульсы начального и конечного состояний совпадают по величине и направлению.

8) Выписать систему связанных уравнений Липпмана-Швингера для задачи о взаимодействии в связанной системе частиц  $\Xi N - \Lambda \Sigma - \Sigma \Sigma$ . Показать, что вне зависимости от числа уравнений описывающих эту систему энергия связи системы будет находиться путём решения одного и того же уравнения;

9) Показать, что при внезапном ускорении тяжёлой подсистемы волновые функции лёгких подсистем удовлетворяют одному и тому же уравнению Шрёдингера записанному в различных (покоящейся и движущейся) системах координат при заданном унитарном преобразовании волновых функций;

10) Показать, что функционал Швингера стационарен относительно произвольных вещественных вариаций пробной функции вблизи некоторой функции, пропорциональной точному решению уравнения Липпмана-Швингера;

г) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.

Самостоятельная работа студента включает:

- углубленное теоретическое изучение разделов курса при подготовке к лекционным и практическим занятиям;
- подготовку к обсуждению материала, в том числе самостоятельный поиск необходимых источников информации, включая научно-образовательные ресурсы сети Интернет;
- подготовку к дифференцированному зачету.

## 12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

1. Тейлор Дж. Теория рассеяния. Квантовая теория нерелятивистских столкновений. / пер. с англ. А.С.Жукарева, под ред. проф. А.М. Бродского. – М.: МИР, 1975. – 564 с.
2. Ньютон Р. Теория рассеяния волн и частиц / пер. с англ. А.М.Кузнецова, А.А. Черненко под ред. А.М.Бродского, В.В.Толмачева. – М.: МИР, 1969 г. – 600 с.

б) дополнительная литература:

- Goldberger M.L. Collision theory / M.L. Goldberger, K.M. Watson. – New York.: John Wiley & Sons Inc. 1964 г.– 919 с.
- Дыхне А.М. Внезапные возмущения и квантовая эволюция. /А.М. Дыхне, Г.Л. Юдин. – М.: Успехи физических наук, 1996 г. – 428 с.
- Шмид. Э. Проблема трёх тел в квантовой механике / Э.Шмид, Х. Цигельман. (пер. С англ. В.И. Кукулина под ред. Ю.М. Широкова. – М.: НАУКА, 1979 г. – 272 с.
- Захарьев Б.Н. Послушная квантовая механика. Новый статус теории в подходе обратной задачи / Б.Н. Захарьев, В.М. Чабанов. – М.: Институт компьютерных исследований, 2002 г. – 300 с.

## 13. Перечень информационных технологий

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

– Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office OneNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook);

– публично доступные облачные технологии

б) информационные справочные системы:

– Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ – <http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>

– Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ – <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>

– ЭБС Лань – <http://e.lanbook.com/>

– ЭБС Консультант студента – <http://www.studentlibrary.ru/>

– Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>

– ЭБС ZNANIUM.com – <https://znanium.com/>

– ЭБС IPRbooks – <http://www.iprbookshop.ru/>

## 14. Материально-техническое обеспечение

Аудитории для проведения занятий лекционного типа.

Аудитории для проведения занятий семинарского типа, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

Аудитории для проведения занятий лекционного и семинарского типа индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации в смешанном формате («Актру»).

## **15. Информация о разработчиках**

Егоров Михаил Викторович, кандидат физико-математических наук, физический факультет Томского государственного университета, старший научный сотрудник, доцент кафедры квантовой теории поля.