



## МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

### «ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФГБОУ ВО «ИГУ»

#### Кафедра теоретической физики

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета

/Н.М. Буднев

«31» марта 2022 г.



#### Рабочая программа дисциплины

Наименование дисциплины: Б1.В.05 Теория рассеяния

Направление подготовки: 03.03.02 Физика

Направленность (профиль) подготовки: Фундаментальная физика

Квалификация (степень) выпускника: Бакалавр

Форма обучения: Очная

Согласовано с УМК физического факультета  
Протокол №33 от «31» марта 2022 г.

Председатель

Н.М.Буднев

Рекомендовано кафедрой:

Протокол №6

От «03» марта 2022 г.

И.о. зав. кафедрой

С.В. Ловцов

Иркутск 2022 г.

## Содержание

I. Цели и задачи дисциплины.....	3
II. Место дисциплины в структуре ОПОП.....	3
III. Требования к результатам освоения дисциплины.....	3
IV. Содержание и структура дисциплины (модуля).....	4
4.1. Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов.....	4
4.2. План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.....	4
4.3. Содержание учебного материала.....	5
4.3.1. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ.....	5
4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС).....	7
4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.....	7
4.5. Примерная тематика курсовых работ.....	7
V. Учебно-методическое обеспечение дисциплины.....	7
а) список литературы.....	7
б) периодические издания.....	8
в) список авторских методических разработок.....	8
г) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы.....	8
VII. Материально-техническое обеспечение дисциплины.....	8
VII. Образовательные технологии.....	8
VIII. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации.....	8
Приложение: фонд оценочных средств	

## I. Цели и задачи дисциплины

Целью курса «Теория рассеяния» является углубление и развитие представлений о процессах квантового рассеяния; освоение методов качественных и количественных оценок сечения и фазы рассеяния; приобретение навыков по точному и приближенному вычислению этих величин для различных потенциалов взаимодействия; уяснение роли аналитических свойств физических величин и их связей со свойствами потенциала и условием причинности; прояснение понятия оператора в Гильбертовом пространстве и смысла условий его самосопряженности; введение в круг идей и методов теории перенормировок и теории S-матрицы релятивистской квантовой теории поля.

Данный курс призван решать следующие задачи:

- изучение стационарных и нестационарной методов описания процессов рассеяния в квантовой механике;
- знакомство с их основными экспериментально наблюдаемыми характеристиками;
- формирование умений и навыков самостоятельного вычисления и оценки фаз и сечений рассеяния на заданных потенциалах.

## II. Место дисциплины в структуре ОПОП

«Теория рассеяния» относится к дисциплинам, формируемым участниками образовательного процесса. При изучении курса «Квантовая теория рассеяния» используются знания, приобретенные при изучении основных физических и математических курсов: «Математический анализ», «Линейная алгебра», «Дифференциальные уравнения», «Интегральных уравнений», «Теории функций комплексного переменного», «Теоретическая механика», «Линейные и нелинейные уравнения физики», «Квантовая теория», «Электродинамика», а также спецкурсов по релятивистской квантовой теории. Курс «Теория рассеяния» является базовым для изучения курсов «Квантовая теория излучения», «Введение в квантовую теорию поля», «Квантовая электродинамика», «Слабые взаимодействия».

## III. Требования к результатам освоения дисциплины

**Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций**

Компетенция	ПК-1: Способен использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин.
Индикаторы компетенции	ИДК <sub>пк1.1</sub> Применяет физико-математический аппарат в сфере своей профессиональной деятельности
Результаты обучения	<b>Знает:</b> основные законы, уравнения, идеи и методы квантовой теории рассеяния. <b>Умеет:</b> применять эти идеи и уравнения для решения задачи рассеяния на различных потенциалах используя адекватные математические методы и приближения для анализа конкретных потенциалов взаимодействий. <b>Владеет:</b> навыками вычисления и оценки основных наблюдаемых характеристик процессов рассеяния: сечений и фаз рассеяния, времени задержки, энергий связи.

## IV. Содержание и структура дисциплины (модуля)

Объем дисциплины составляет 4 зачетных единицы, 144 часа, в том числе 49 часов контактной работы.

Занятия проводятся только в очной форме обучения с применением дистанционного контроля самостоятельной работы студентов через ЭИОС факультета. Электронной и дистанционной форм обучения не предусматривается.

На практическую подготовку отводится 9 часов.

Форма промежуточной аттестации: экзамен.

#### **4.1. Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов**

№ п/п	Разде л дисц ипли ны/те мы	С е м е с т р	Вс ег о ча со в	Из них практ ическ ая подго товка обуча ющи хся	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся , практическую подготовку и трудоемкость (в часах)			Формы текущего контроля успеваемости; Форма промежуточно й аттестации (по семестрам)	
					Контактная работа преподавателя с обучающимися				
					Лекции	Семинарские /практические /лабораторные занятия	Консультации		
1	1-3	6	144	9	18	18	1	95	Практическое задание
Итого:			144	9	18	18	1	95	

#### **4.2. План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

Семестр	Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы
		Вид самостоятельной работы	Сроки выполнения	Трудоемкость (час.)		
6	Тема 1-3	Задание в виде задач	После пройденных тем	95	Демонстрация готовых решений	Источники из основной и дополнительной литературы по теме практических занятий; Образовательные ресурсы, до-ступные по логину и паролю, предоставляемым Научной библиотекой ИГУ.

#### **4.3. Содержание учебного материала**

##### **Содержание программы**

## **Тема 1. Стационарная теория рассеяния**

1. Классическая теория рассеяния и квазиклассические оценки для полных сечений.
2. Квазиклассический анализ дифференциального УШ. Асимптотика ВФ, амплитуда и дифференциальное сечение рассеяния. Плотность потока и оптическая теорема.
3. Интегральные уравнения Липпмана-Швингера на ВФ Борновского приближение и приближение эйконала. Half-off shell Т-матрица, ВФ и амплитуда рассеяния.
4. Стационарная теория потенциального рассеяния:  
Формальная алгебраическая схема: уравнения ЛШ на ФГ и off shell Т-матрицу.  
Полнота системы собственных функций. Полная Функция Грина (ФГ).  
Уравнения Лоу. Унитарность и оптическая теорема.  
Дисперсионные соотношения для полной амплитуды рассеяния вперед.
5. Сепарабельные потенциалы конечного ранга. Дельта-потенциал. Перенормировка.
6. Детерминант оператора - детерминант Фредгольма.
7. Представления для детерминанта через наблюдаемые - фазу рассеяния и энергии связанных состояний и теорема Левинсона. Представление детерминанта в методе эволюции по константе связи и правила сумм для энергий связанных состояний и фазы.
8. Разложение по парциальным волнам. Радиальное уравнение Шредингера. Решение Йоста, регулярное и физическое решения. Фазы рассеяния. Сечение неупругого рассеяния. Вольтерровы интегральные уравнения и аналитические свойства решений. Функция Йоста как детерминант Фредгольма парциального оператора УШ.
9. Аналитические свойства функции Йоста и S-матрицы. Связанные, резонансные и виртуальные состояния. Приближение эффективного радиуса.
10. Квазиклассические приближения для фазы и амплитуды рассеяния.

## **Тема 2. Нестационарная теория рассеяния**

1. Представления Гейзенберга, Шредингера и взаимодействия.
2. Волновые операторы Меллера и S-Матрица.
3. Эволюция волновых пакетов.
4. Детальное равновесие и обращение времени.

## **Тема 3. Частные виды потенциалов. Теория расширений.**

1. Потенциалы Юкавского типа. Аналитические свойства амплитуды по передаче импульса. Граница Фруассара для сечения рассеяния.
2. Полюса Редже в плоскости углового момента и представление Зоммерфельда-Ватсона
3. Потенциальное рассеяние частиц в пространствах произвольной размерности. Интегральное представление для функции Йоста. Связь между решениями для одного и того же потенциала в пространствах разной размерности.
4. Точно решаемые потенциалы: кулоновский, дейtronый, хюльтеновский.
5. Сингулярные потенциалы. Самосопряженные расширения оператора Гамильтониана. Дополнительные граничные условия. Дельта-потенциал в теории фон Неймана и формула Крейна.

### **4.3.1. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ**

№	№ раздела и темы дисциплины (модуля)	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Трудоемкость (часы)	Оценочные средства	Формируемые компетенции
1	2	3	4	5	6
1.	<b>Тема 1</b>	Классическая теория рассеяния и квазиклассические оценки для полных сечений. Квазиклассический анализ дифференциального УШ. Асимптотика ВФ, амплитуда и дифференциальное сечение рассеяния. Плотность потока и оптическая теорема. Интегральные уравнения Липпмана-Швингера на ВФ. Борновское приближение	6	Домашнее контрольное задание	ПК-1

		<p>ние и приближение эйконала. Half-off shell Т-матрица, ВФ и амплитуда рассеяния.. Стационарная теория потенциального рассеяния:. Формальная алгебраическая схема: уравнения ЛШ на ФГ и off shell Т-матрицу. Полнота системы собственных функций. Полная ФГ. Уравнения Лоу. Унитарность и оптическая теорема.</p> <p>Дисперсионные соотношения для полной амплитуды рассеяния вперед. Сепарабельные потенциалы конечного ранга. Дельта-потенциал. Перенормировка. Детерминант оператора - детерминант Фредгольма. Представления для детерминанта через наблюдаемые - фазу рассеяния и энергии связанных состояний и теорема Левинсона. Представление детерминанта в методе эволюции по константе связи и правила сумм для энергий связанных состояний и фазы.</p> <p>Разложение по парциальным волнам. Радиальное уравнение Шредингера. Решение Йоста, регулярное и физическое решения. Фазы рассеяния. Сечение неупругого рассеяния. Вольтерровы интегральные уравнения и аналитические свойства решений. Функция Йоста как детерминант Фредгольма парциального оператора УШ. Аналитические свойства функций Йоста и S-матрицы. Связанные, резонансные и виртуальные состояния. Приближение эффективного радиуса. Квазиклассические приближения для фазы и амплитуды рассеяния.</p>			
2.	<u>Тема 2</u>	Представления Гейзенберга, Шредингера и взаимодействия. Волновые операторы Меллера и S-Матрица. Эволюция волновых пакетов. Детальное равновесие и обращение времени.	6	Домашнее Контрольное задание	ПК-1
3.	<u>Тема 3</u>	<p>Потенциалы Юкавского типа. Аналитические свойства амплитуды по передаче импульса. Граница Фруассара для сечения рассеяния. Полюса Редже в плоскости углового момента и представление Зоммерфельда-Ватсона</p> <p>Потенциальное рассеяние частиц в пространствах произвольной размерности. Интегральное представление для функции Йоста. Связь между решениями для одного и того же потенциала в пространствах разной размерности. Точно решаемые потенциалы: кулоновский, дейтроны, хюльтеновский.</p> <p>Сингулярные потенциалы.</p> <p>Самосопряженные расширения оператора Гамильтониана. Дополнительные граничные условия. Дельта-потенциал в теории фон Неймана и формула Крейна.</p>	6	Домашнее Контрольное задание	ПК-1

#### **4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС)**

№ нед.	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание: Текущие задачи на семинарах и 21 задача из семестрового задания	Рекомендуемая литература	Количество часов
	<b><u>Тема 1</u></b>	Внеаудиторная, решение задач	<a href="http://www.pd.isu.ru/sost/teor_phi/korenbtDSPh/zadan.pdf">http://www.pd.isu.ru/sost/teor_phi/korenbtDSPh/zadan.pdf</a>	Основная и дополнительная	35
	<b><u>Тема 2</u></b>	Внеаудиторная, решение задач		Основная и дополнительная	25
	<b><u>Тема 3</u></b>	Внеаудиторная, решение задач		Основная и дополнительная	35

#### **4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов**

Своевременное решение 21 задачи из семестрового задания.

#### **4.5. Примерная тематика курсовых работ**

Учебным планом не предусмотрено написание курсовых работ.

### **V. Учебно-методическое обеспечение дисциплины**

#### **a) список литературы**

##### **Основная литература**

1. Киселев, В. В. Квантовая механика [Текст] : курс лекций / В. В. Киселев. - М. : Изд-во МЦНМО, 2009. - 560 с.- ISBN 978-5-94057-497-2 (4 экз.)
2. Ландау, Лев Давидович. Теоретическая физика [Текст] : учеб.пособие для студ.физ. спец. ун-тов: В 10т. / Л.Д.Ландау,Е.М.Лифшиц;Под ред.Л.П.Питаевского. - 5-е изд.,стер. - М. : Физматлит. Т.III : Квантовая механика. Нерелятивистская теория /Л.Д.Ландау,Е.М.Лифшиц. - 5-е изд.,стер. -1974, 2001, - 808 с. (56 экз)

##### **Дополнительная литература:**

1. Елотин П.В., Кривченков В.Д. Квантовая механика. М: Наука, 1976. (5 экз)
2. Зелевинский, В. Г. Лекции по квантовой механике [Текст] : учебное пособие / В. Г. Зелевинский. - 2-е изд., испр. и доп. - Новосибирск : Сиб. унив. изд-во, 2002. (1 экз)
3. Сербо, В. Квантовая механика [Text] : учеб.пособие / В. Сербо, И.Б. Хриплович ; Новосибирский гос.ун-т. - Новосибирск : [с. н.], 2000. - 136 с. (1 экз)
4. Мессиа, А. Квантовая механика / А. Мессиа. Т. 1., Т. 2. – М: Наука, 1978. (2 экз)
5. Галицкий А.М., Карнаков Б.М., Коган В.И. Сборник задач по квантовой механике. М: Наука, 1981, 2001. (54 экз)
6. Липкин, Г. Квантовая механика: новый подход к некоторым проблемам / Г. Липкин ; пер. с англ. под ред. В. В. Толмачева. - М. : Мир, 1977. (14 экз)
7. Ньютон, Р. Теория рассеяния волн и частиц [Текст] : научное издание / Р. Ньютон ; пер. с англ.: А. М. Кузнецов, А. А. Черненко ; ред.: А. М. Бродский, В. В. Толмачев. - М. : Мир, 1969. - 607 с. Пер. изд. : Scattering theory of waves and particles / Roger G. Newton. - New York. (1 экз)
8. Фаддеев, Л. Д. Лекции по квантовой механике для студентов-математиков [Текст] : учебное пособие / Л.Д. Фаддеев, О.А. Якубовский. - 2-е изд. - Ижевск : Регулярная и хаотическая динамика, 2001. - 255 с. (1 экз)
- 9 Ситенко А.Г. Лекции по теории рассеяния. Киев, «Вища школа», 1971. (1 экз)
10. Сунакава С. Квантовая теория рассеяния. М: Мир, 1979. (8 экз)
11. Тейлор Дж. Теория рассеяния. М: Мир, 1975. (2 экз)
12. В. де Альфаро, Т. Редже. Потенциальное рассеяние. М: Мир, 1966. (1 экз)

**б) периодические издания**

- нет.

**в) список авторских методических разработок**

Основные материалы по курсу доступны на персональной странице

[http://www.pd.isu.ru/sost/teor\\_phi/korenb/korenb.html](http://www.pd.isu.ru/sost/teor_phi/korenb/korenb.html)

[http://www.pd.isu.ru/sost/teor\\_phi/korenb//TDSPh/radscet.htm](http://www.pd.isu.ru/sost/teor_phi/korenb//TDSPh/radscet.htm)

[http://www.pd.isu.ru/sost/teor\\_phi/korenb/TDSPh/zadan.pdf](http://www.pd.isu.ru/sost/teor_phi/korenb/TDSPh/zadan.pdf)

[http://www.pd.isu.ru/sost/teor\\_phi/korenb/TDSPh/qm\\_ngu.pdf](http://www.pd.isu.ru/sost/teor_phi/korenb/TDSPh/qm_ngu.pdf)

[http://www.pd.isu.ru/sost/teor\\_phi/korenb/TDSPh/am\\_j\\_phys\\_2002.pdf](http://www.pd.isu.ru/sost/teor_phi/korenb/TDSPh/am_j_phys_2002.pdf)

[http://www.pd.isu.ru/sost/teor\\_phi/korenb/S0217732315500741.pdf](http://www.pd.isu.ru/sost/teor_phi/korenb/S0217732315500741.pdf)

[http://www.pd.isu.ru/sost/teor\\_phi/korenb/TDSPh/par\\_kor\\_93.djvu](http://www.pd.isu.ru/sost/teor_phi/korenb/TDSPh/par_kor_93.djvu)

[http://www.pd.isu.ru/sost/teor\\_phi/korenb/TDSPh/tmf5265.pdf](http://www.pd.isu.ru/sost/teor_phi/korenb/TDSPh/tmf5265.pdf)

**г) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы**

Литература доступна также на <http://library.isu.ru/> - Научная библиотека ИГУ

Образовательные ресурсы, доступные по логину и паролю, предоставляемым Научной библиотекой ИГУ:

<https://isu.bibliotech.ru/> - ЭЧЗ «БиблиоТех»;

<http://e.lanbook.com> - ЭБС «Издательство «Лань»;

<http://rucont.ru> - ЭБС «Руконт» - межотраслевая научная библиотека

**VII. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Аудитория минимум с двумя досками и мел. Доступ к ресурсам ИГУ из сети Интернет. На лекциях могут использоваться мультимедийные средства: проектор, переносной экран, ноутбук.

**VII. Образовательные технологии**

Лекция, практические занятия, индивидуальная работа при сдаче семестровых заданий.

**VIII. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации**

Фонд оценочных средств представлен в приложении.

Формы текущего контроля: контрольные вопросы на занятиях.

Форма промежуточного контроля – зачет. Прием семестрового задания.

**8.1. Варианты контрольных вопросов:**

1. Оценки сечения для конкретных потенциалов.
2. Вычисление функций Йоста и фаз рассеяния для конкретных потенциалов.
3. Теорема Левинсона как следствие аналитических свойств функции Йоста.
4. Уравнения Липпмана-Швингера для парциальных амплитуд. .
5. Радужное рассеяние и гloria.
6. Распад квазистационарного состояния и резонанс. Время задержки.

**8.2 Пример задачи из семестрового задания:**

Доказать теорему Левинсона исходя из аналитических свойств функции  $F_l(-ik)$  в верхней полуплоскости переменной  $k$ . Пояснить различие случаев  $l=0$  и  $l>0$ .

**8.3. Примерный список вопросов к экзамену:**

1. Классическая теория рассеяния и квазиклассические оценки для полных сечений.
2. Грубый квазиклассический анализ дифференциального УШ. Амплитуда и дифференциальное сечение рассеяния.
3. Интегральные уравнения Липпмана-Швингера на в.ф. Борновское приближение и приближение эйконала. Half-off shell T-матрица, в.ф. и амплитуда рассеяния.

4. Уравнения ЛШ на ФГ и Т-матрицу. Уравнения Лоу. Унитарность и оптическая теорема. Дисперсионные Соотношения для полной амплитуды рассеяния вперед.
5. Сепарабельные потенциалы конечного ранга. Дельта-потенциал. Перенормировка.
6. Детерминант оператора - детерминант Фредгольма.
7. Представления для детерминанта через наблюдаемые - фазу рассеяния и энергии связанных состояний и в методе эволюции по константе связи. Теорема Левинсона и правила сумм для энергий и фазы.
8. Разложение по парциальным волнам. Радиальное уравнение Шредингера. Решение Йоста, регулярное и физическое решения. Фазы рассеяния. Вольтерровы интегральные уравнения и аналитические свойства решений. Функция Йоста - детерминант парциального оператора УШ.
9. Аналитические свойства функции Йоста и S-матрицы. Связанные, резонансные, виртуальные состояния. Приближение эффективного радиуса.
10. Квазиклассическое приближение для фазы. Метод Калоджеро.
11. Представления Гейзенберга, Шредингера и взаимодействия.
12. Волновые операторы Меллера и S-Матрица. Детальное равновесие и обращение времени.
13. Сингулярные потенциалы. Самосопряженные расширения оператора Гамильтониана. Дополнительные граничные условия.
14. Потенциалы Юкавского типа. Аналитические свойства амплитуды по передаче импульса. Граница Фруассара для сечения рассеяния.

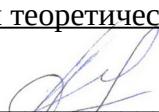
**Разработчики:**

профессор кафедры теоретической физики

С.Э. Коренблит

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.03.02 Физика.

Программа рассмотрена на заседании кафедры теоретической физики  
«03» марта 2022 г.

Протокол №6 И.о. зав. кафедрой  С.В. Ловцов

**Настоящая программа не может быть воспроизведена ни в какой форме без предварительного письменного разрешения кафедры-разработчика программы.**