



**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

«17» марта 2026 г.



**Рабочая программа дисциплины**

Наименование дисциплины: Б1.В.ДВ.10.01 Теория рассеяния

Направление подготовки: 03.03.02 Физика

Направленность (профиль) подготовки: Фундаментальная физика и физика Космоса

Квалификация (степень) выпускника: Бакалавр

Форма обучения: Очная

Согласовано с УМК физического факультета  
Протокол №53 от «17» марта 2026 г.

Председатель

Н.М.Буднев

Рекомендовано кафедрой:

Протокол №7

От «12» марта 2026 г.

Зав. кафедрой

С.В. Ловцов

**Иркутск 2026 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
VI. 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 нестационарных 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», «Интегральные уравнения», «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 и астрофизики для освоения профильных физических дисциплин.
Индикаторы компетенции	ИДК <sub>ПК1.1</sub> Способен проводить анализ научных данных, результатов экспериментов и наблюдений, используя специализированные знания в области физики и астрофизики. ИДК <sub>ПК1.2</sub> Способен проводить анализ новых направлений исследований и опытно-конструкторских разработок в соответствующей области знаний.
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 85 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 36 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	Раздел дисциплины/темы	Семестр	Всего часов	Из них практическая подготовка обучающихся	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся, практическую подготовку и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля успеваемости; Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
					Контактная работа преподавателя с обучающимися			Самостоятельная работа	
					Лекции	Семинарские /практические /лабораторные занятия	Консультации		
1	1-3	6	144	36	36	36	1	42	Практическое задание
Итого:			144	36	36	36	1	42	

#### 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	42	Демонстрация готовых решений	Источники из основной и дополнительной литературы по теме практических занятий; Образовательные ресурсы, доступные 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 Борновское приближение и приближение эйконала. Half-off shell T-матрица, ВФ и амплитуда рассеяния.
4. Стационарная теория потенциального рассеяния:  
Формальная алгебраическая схема: уравнения ЛШ на ФГ и off shell T-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, дейтроновый, хьюлтеновский.
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.	<u>Тема 1</u>	Классическая теория рассеяния и квазиклассические оценки для полных сечений. Квазиклассический анализ дифференциального УШ. Асимптотика ВФ, амплитуда и дифференциальное сечение рассеяния.	12	Домашнее контрольное задание	ПК-1

		<p>Плотность потока и оптическая теорема. Интегральные уравнения Липпмана-Швингера на ВФ. Борновское приближение и приближение эйконала. Half-off shell T-матрица, ВФ и амплитуда рассеяния.. Стационарная теория потенциального рассеяния:.. Формальная алгебраическая схема: уравнения ЛШ на ФГ и off shell T-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.</p> <p>Аналитические свойства функции Йоста и S-матрицы. Связанные, резонансные и виртуальные состояния. Приближение эффективного радиуса. Квазиклассические приближения для фазы и амплитуды рассеяния.</p>			
2.	<b><u>Тема 2</u></b>	<p>Представления Гейзенберга, Шредингера и взаимодействия. Волновые операторы Меллера и S-Матрица. Эволюция волновых пакетов. Детальное равновесие и обращение времени.</p>	12	Домашнее Контрольное задание	ПК-1
3.	<b><u>Тема 3</u></b>	<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, дейтронный, хюльтеновский.</p> <p>Сингулярные потенциалы.</p> <p>Самосопряженные расширения оператора Гамильтониана. Дополнительные граничные условия. Дельта- потенциал в теории фон Неймана и формула Крейна.</p>	12	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>Тема 1</b>	Внеаудиторная, решение задач	<a href="http://www.pd.isu.ru/sost/teor_phi/korenb/TDSPH/zadan.pdf">http://www.pd.isu.ru/sost/teor_phi/korenb/TDSPH/zadan.pdf</a>	Основная и дополнительная	15
	<b>Тема 2</b>	Внеаудиторная, решение задач		Основная и дополнительная	15
	<b>Тема 3</b>	Внеаудиторная, решение задач		Основная и дополнительная	12

#### 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

##### *а) 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. Елютин П.В., Кривченков В.Д. Квантовая механика. М: Наука, 1976. (5 экз)
2. Галицкий А.М., Карнаков Б.М., Коган В.И. Сборник задач по квантовой механике. М: Наука, 1981, 2001. (54 экз)
3. Липкин, Г. Квантовая механика: новый подход к некоторым проблемам / Г. Липкин ; пер. с англ. под ред. В. В. Толмачева. - М. : Мир, 1977. (14 экз)
4. Сунакава С. Квантовая теория рассеяния. М: Мир, 1979. (8 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/TDSPH/S0217732315500741.pdf](http://www.pd.isu.ru/sost/teor_phi/korenb/TDSPH/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 «Рукопт» - 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 – экзамен. 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 gloria.
6. Распад квазистационарного состояния и резонанс. Время задержки.

### 8.2. Пример задачи из семестрового задания:

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

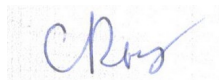
### 8.3. Примерный список вопросов к экзамену:

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 T-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 «12» марта 2026 г.

Протокол №7 Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ С.В. Ловцов

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