



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

«02» апреля 2025 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 №49 от «26» марта 2025 г.

Председатель

Н.М.Буднев

Рекомендовано кафедрой:

Протокол №6

От «24» марта 2025 г.

Зав. кафедрой

С.В. Ловцов

Иркутск 2025 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 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 _{ПК1.1} Способен проводить анализ научных данных, результатов экспериментов и наблюдений, используя специализированные знания в области физики и астрофизики. ИДК _{ПК1.2} Способен проводить анализ новых направлений исследований и опытно-конструкторских разработок в соответствующей области знаний.
Результаты обучения	Знает: основные законы, уравнения, идеи и методы квантовой теории рассеяния. Умеет: применять эти идеи и уравнения для решения задачи рассеяния на различных потенциалах используя адекватные математические методы и приближения для анализа конкретных потенциалов взаимодействий. Владеет: 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	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся , практическую подготовку и трудоемкость (в часах)		Формы текущего контроля успеваемости; Форма промежуточно
					Контактная работа преподавателя с обучающимися	Самостоятельная	

		р		товка обуча ющих ся	Лекции	Семинарские /практические /лабораторные занятия	Консультации	работа	й аттестации (по семестрам)
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 самостоятельн ой работы
		Вид самостоятельн ой работы	Сроки выполнения	Трудоемкость (час.)		
6	Тема 1-3	Задание в виде задач	После пройденных тем	42	Демонстрация готовых решений	Источники из основной и дополнительно й литературы по теме практических занятий; Образовательн ые ресурсы, до-ступные по логину и пароллю, предоставляем ым 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, хьюльеновский.
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. 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. 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	12	Домашнее контрольное задание	ПК-1

		фазы. 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 функции Йоста и S-матрицы. Связанные, резонансные и виртуальные состояния. Приближение эффективного радиуса. Квазиклассические приближения для фазы и амплитуды рассеяния.			
2.	Тема 2	Представления Гейзенберга, Шредингера и взаимодействия. Волновые операторы Меллера и S-Матрица. Эволюция волновых пакетов. Детальное равновесие и обращение времени.	12	Домашнее Контрольное задание	ПК-1
3.	Тема 3	Потенциалы Юкавского типа. Аналитические свойства амплитуды по передаче импульса. Граница Фруассара для сечения рассеяния. Полуса Редже в плоскости углового момента и представление Зоммерфельда-Ватсона 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, дейтроновый, хьюлленовский. Сингулярные потенциалы. Самосопряженные расширения оператора Гамильтониана. Дополнительные граничные условия. Дельта-потенциал в теории фон Неймана и формула Крейна.	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
	Тема 1	Внеаудиторная, решение задач	http://www.pd.isu.ru/sost/teor_phi/korenb/TDSPh/zadan.pdf	Основная и дополнительная	15
	Тема 2	Внеаудиторная, решение задач		Основная и дополнительная	15
	Тема 3	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/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/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/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/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.

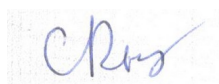
8.2 Пример задачи из семестрового задания:

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

«24» марта 2025 г.



Протокол №6 Зав. кафедрой _____ С.В. Ловцов

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