



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
ФГБОУ ВО «ИГУ»  
**Кафедра теоретической физики**

УТВЕРЖДАЮ  
Декаан Н.М. Буднев  
«28» июня 2016 г.



**Рабочая программа дисциплины**

Наименование дисциплины: Б1.В.ДВ.3.2 Теория рассеяния

Направление подготовки: 03.03.02 Физика

Тип образовательной программы: Академический бакалавриат


Направленность (профиль) подготовки: Физика конденсированного состояния

Квалификация (степень) выпускника: Бакалавр

Форма обучения: Очная


Согласовано с УМК физического факультета

Протокол №3 от «28» июня 2016 г.

Зам. председателя   
В.В. Чумак

Рекомендовано кафедрой:

Протокол №8  
От «13» мая 2016 г.

Зав. кафедрой   
С.В. Ловцов

Иркутск 2016 г.

## Содержание

1. Цели и задачи дисциплины (модуля) .....	3
2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП .....	3
3. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля): .....	3
4. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы (разделяется по формам обучения) .....	4
5. Содержание программы .....	4
5.1 Общее содержание .....	4
5.2 Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами.....	5
5.3. Разделы и темы дисциплин (модулей) и виды занятий.....	5
6. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ .....	5
6.1. План самостоятельной работы студентов .....	7
6.2. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов .....	7
7. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии).....	7
8. Учебно-методическое обеспечение дисциплины .....	7
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля):.....	8
10. Образовательные технологии: .....	8
11. Оценочные средства (ОС): .....	8
12. Приложение: ФОС.....	11

## 1. Цели и задачи дисциплины (модуля)

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.

## 2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП

Дисциплина «Теория рассеяния» является обязательной в вариативной части общенаучного цикла ОПОП. 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».

## 3. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля):

Процесс изучения дисциплины (модуля) направлен на формирование следующих компетенций:

- способность использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов математики, создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей (ОПК-2);
- способностью использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач (ОПК-3);
- способностью использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин (ПК-1);

В результате изучения дисциплины студент должен:

**Знать:** основные законы, уравнения, идеи и методы квантовой теории рассеяния.

**Уметь:** применять эти идеи и уравнения для решения задачи рассеяния на различных потенциалах используя адекватные математические методы и приближения для анализа конкретных потенциалов взаимодействий.

**Владеть:** навыками вычисления и оценки основных наблюдаемых характеристик процессов рассеяния: сечений и фаз рассеяния, времени задержки, энергий связи.

#### 4. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы (разделяется по формам обучения)

Вид учебной работы	Всего часов / зачетных единиц	Семестры	
		7	
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	60 / 1,7	60	
В том числе:	-	-	-
Лекции			
Практические занятия (ПЗ)	54 / 1,5	54	
КСР	6/0,2	6	
<b>Самостоятельная работа (всего)</b>	12 / 0,3	12	
Вид промежуточной аттестации (экзамен)	36/1	36	
<b>Контактная работа (всего)</b>	61/1,7	61	
Общая трудоемкость часы / зачетные единицы	<b>108 / 3</b>	<b>108 / 3</b>	

#### 5. Содержание программы

##### 5.1 Общее содержание

###### 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, дейтронный, хьюлтеновский.
5. Сингулярные потенциалы. Самосопряженные расширения оператора Гамильтониана. Дополнительные граничные условия. Дельта-потенциал в теории фон Неймана и формула Крейна.

## 5.2 Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами

№ п/п	Наименование обеспечиваемых (последующих) дисциплин	№ № разделов и тем данной дисциплины, необходимых для изучения обеспечиваемых (последующих) дисциплин					
		1	2	3			
3.	Квантовая электродинамика	1	2	3			
4	Нейтринная астрофизика	1	2	3			

## 5.3. Разделы и темы дисциплин (модулей) и виды занятий

№	Темы, Разделы	Виды подготовки		Самост. работа	
		Лекции	Практические занятия	СРС	КСР
1.	Стационарная теория рассеяния		30	5	2
2.	Нестационарная теория рассеяния		8	2	2
3.	Частные виды потенциалов. Теория расширений.		16	5	2

## 6. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ

№ п/п	№ 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 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	30	Домашнее Контрольное задание	ОПК-2,3, ПК-1

		<p>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>	8	Домашнее Контрольное задание	ОПК-2,3, ПК-1
3.	<b><u>Тема 3</u></b>	<p>Потенциалы Юкавского типа. Аналитические свойства амплитуды по передаче импульса. Граница Фруассара для сечения рассеяния. Полуса 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, дейтроновый, хюльтоновский.</p> <p>Сингулярные потенциалы.</p> <p>Самосопряженные расширения оператора Гамильтониана. Дополнительные граничные условия. Дельта- потенциал в теории фон Неймана и формула Крейна.</p>	16	Домашнее Контрольное задание	ОПК-2,3, ПК-1

## 6.1. План самостоятельной работы студентов

№ 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	5
	<b>Тема 2</b>	Внеаудиторная, решение задач		Основная и дополнительная	2
	<b>Тема 3</b>	Внеаудиторная, решение задач		Основная и дополнительная	5

## 6.2. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов

Своевременное решение 21 задачи из семестрового задания.

### 7. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии)

Учебным планом не предусмотрено написание курсовых работ (проектов).

### 8. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

#### а) 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)

#### б) Дополнительная литература:

1. Елютин 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 : [s. n.], 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. : Stattering 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)

## в) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

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)

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,

## 9. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля):

Аудитория минимум с двумя досками и мел. Доступ к ресурсам ИГУ из сети Интернет.

## 10. Образовательные технологии:

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

## 11. Оценочные средства (ОС):

Фонд оценочных средств представлен в приложении.

Формы текущего контроля: контрольные вопросы на занятиях.

Форма промежуточного контроля – экзамен. Прием семестрового задания.

### 11.1. 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 глория.
6. Распад квазистационарного состояния и резонанс. Время задержки.

### 11.2 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  $l>0$ .

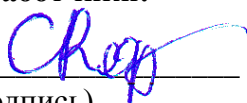
### 11.3. Примерный список вопросов к экзамену:

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:**

  
(подпись) \_\_\_\_\_ профессор кафедры теоретической физики С. Э. Коренблит

Программа рассмотрена на заседании кафедры теоретической физики  
«13» мая 2016 г.

Протокол № 8 Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ С.В. Ловцов

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

**Лист согласования, дополнений и изменений  
на 2017/2018 учебный год**

К рабочей программе дисциплины Б1.В.ДВ.3.2 Теория рассеяния по направлению 03.03.02  
Физика профилю Физика конденсированного состояния

В рабочую программу дисциплины вносятся следующие дополнения: нет дополнений.

Изменения одобрены Ученым советом физического факультета,  
протокол №8 от 19.06.2017 г.

Зав. кафедрой теоретической физики



С.В. Ловцов