

**Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования Московской области
«Международный университет природы, общества и человека «Дубна»
(университет «Дубна»)
Факультет естественных и инженерных наук
Кафедра теоретической физики**

УТВЕРЖДАЮ

проректор по учебной работе

_____ С.В. Моржухина

« _____ » _____ 2011 г.

ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Теория рассеяния для систем нескольких частиц»

Магистерская программа 010700.68

«Теоретическая и математическая физика»

Форма обучения: очная

Уровень подготовки: магистр

Курс 6, семестр В

г. Дубна, 2011 г.

1. Выписка из ГОС ВПО

Относится к дисциплинам по выбору цикла СДМ. Знания, умения и навыки определяются ООП ВУЗа

2. Аннотация

Программа дисциплины «Теория рассеяния для систем нескольких частиц» составлена в соответствии с разделом СДМ ГОС ВПО магистерской программы 010700.68 (510417) «Теоретическая и математическая физика». Дисциплина «Квантово-полевые методы в статистической физике» входит в цикл специальных дисциплин магистерской подготовки (СДМ).

Место курса в профессиональной подготовке магистров

Дисциплина «Теория рассеяния для систем нескольких частиц» опирается на курсы линейной алгебры, математического анализа, обыкновенных дифференциальных уравнений, теории функций комплексного переменного и квантовой механики. Эта дисциплина использует некоторые элементы теории уравнений в частных производных и функционального анализа, а также отдельные разделы теории линейных операторов в банаховых и гильбертовых пространствах. Знания, полученные при освоении дисциплины «Теория рассеяния для систем нескольких частиц», необходимы при подготовке, выполнении и защите выпускной квалификационной работы и при решении научно-исследовательских задач в будущей профессиональной деятельности.

Формы работы студентов в ходе изучения дисциплины предусмотрены семинарские занятия, выполнение домашних работ. Отдельные темы теоретического курса прорабатываются студентами самостоятельно в соответствии с планом самостоятельной работы и конкретными заданиями преподавателя с учетом индивидуальных особенностей студентов.

Самостоятельная работа студентов, предусмотренная учебным планом, выполняется в ходе семестра в форме изучения лекций и рекомендованной литературы, а также подготовки к семинарским занятиям и выполнения домашних работ.

Виды текущего контроля – проверка домашних заданий и опросы во время семинарских занятий. Текущий контроль проводится, чтобы установить степень усвоения студентами лекционного материала, а также проверить их уровень овладения методами решения конкретных задач рассеяния для систем двух и трех частиц.

Форма промежуточного контроля

Экзамен.

3. Цели и задачи дисциплины

Квантовая теория рассеяния для систем нескольких частиц является одним из основных средств описания процессов столкновений ядер, атомов, молекул и т.д. Элементы теории рассеяния для систем двух частиц являются частью стандартного курса квантовой механики. Целью настоящего курса является не только более глубокое изучение вопросов, относящихся к двухчастичной тематике, но и представление существенно более трудных результатов теории рассеяния для систем, содержащих три и более частиц. Задача курса состоит в

ознакомлении студентов с основными концепциями и математическим аппаратом квантовой теории рассеяния, в изучении ими основных закономерностей в процессах столкновений, упругого рассеяния и перестройки в системах нескольких частиц.

4. Требования к уровню освоения содержания дисциплины (знания, умения, навыки)

В результате изучения курса теории рассеяния для систем нескольких частиц студенты должны **усвоить** концепции волнового оператора, T-матрицы, оператора рассеяния и матрицы рассеяния, амплитуд упругого рассеяния, перестройки и развала; **уметь выводить** уравнения Липпмана-Швингера для двух- и трехчастичных T-матриц и резольвент, **уметь вычислять** двухчастичные T-матрицу, амплитуду рассеяния и матрицу рассеяния для простых явно решаемых моделей взаимодействия; **уметь получать** интегральные уравнения Фаддеева для компонент трехчастичной T-матрицы, функции Грина и волновых функций; **уметь** переходить от интегральных к дифференциальным уравнениям Фаддеева в координатном представлении; **знать** основные аналитические особенности трехчастичных волновых функций рассеяния и их компонент Фаддеева в импульсном представлении, знать структуру координатной асимптотики этих волновых функций и компонент в конфигурационном пространстве; **понимать** физический смысл асимптотических граничных условий для дифференциальных уравнений Фаддеева и **уметь** правильно их ставить; и. делать вычисления с векторами и тензорами в различных системах координат; **иметь** представление о методах численного решения дифференциальных уравнений Фаддеева.

5. Объем дисциплины и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр11
Общая трудоемкость дисциплины	80	80
Аудиторные занятия	44	44
Лекции (Л)	22	22
Семинары (С)	22	22
Самостоятельная работа	36	36
Промежуточная аттестация	экзамен	экзамен

6. Разделы дисциплины

п/п	Раздел (тема) дисциплины, содержание	Л	С	СР
1	Элементы спектральной теории линейных	44	4	6

	операторов			
2	Общая схема теории рассеяния. Волновые операторы и оператор рассеяния. Рассеяние частицы на потенциале.	2	2	6
3	Теория рассеяния для системы двух частиц.	4	4	6
4	T-матрица и оператор рассеяния для многоканальной системы с бинарными каналами.	4	4	6
5	Интегральные уравнения Фаддеева и теория рассеяния для системы трех частиц	6	6	8
6	Задача трех частиц в конфигурационном пространстве. Дифференциальные уравнения Фаддеева	2	2	4

Содержание разделов дисциплины

1. Элементы спектральной теории линейных операторов

Гильбертово пространство. Скалярное произведение и норма. Замыкание линейного подмножества гильбертова пространства. Полнота гильбертова пространства. Интеграл Лебега. Важные примеры гильбертовых пространств. Ортонормированные системы векторов. Неравенство Бесселя и равенство Парсеваля. Базисы.

Линейные операторы в гильбертовом пространстве. Норма ограниченного оператора. Ограниченные самосопряженные операторы. Ортогональные проекторы. Изометрические и унитарные операторы.

Равномерная, сильная и слабая сходимости последовательностей операторов. Неограниченные операторы. Резольвента и спектр замкнутого оператора. Сопряженный оператор. Неограниченные симметричные и самосопряженные операторы

Спектральная мера. Интеграл по спектральной мере. Спектральная теорема для самосопряженных операторов. Классификация спектров самосопряженных операторов. Абсолютная непрерывность спектра оператора кинетической энергии.

2. Общая схема теории рассеяния. Волновые операторы и оператор рассеяния. Рассеяние

частицы на потенциале.

Рассеяние в классической механике. Общая схема теории квантового рассеяния. Волновые операторы. Свойства полноты и ортогональности волновых операторов. Оператор рассеяния и матрица рассеяния. Роль абсолютно непрерывного спектра в теории рассеяния.

Достаточное условие существования волновых операторов. Волновые операторы и оператор рассеяния в задаче рассеяния частицы на быстро убывающем потенциале.

Полное и дифференциальное сечение рассеяния классической частицы на потенциале. Полное и дифференциальное сечение рассеяния квантовой частицы на потенциале. Т-матрица на энергетической поверхности и амплитуда рассеяния. Оптическая теорема.

3. Теория рассеяния для системы двух частиц.

Отделение движения центра масс в системе двух частиц. Приведенные относительные координаты и импульсы. Двухчастичная Т-матрица и ее свойства. Уравнение Липпмана-Швингера для двухчастичной Т-матрицы и достаточные условия его однозначной разрешимости.

Ядра двухчастичных волновых операторов как собственные функции непрерывного спектра. Оператор рассеяния и матрица рассеяния. Обоснование нестационарной постановки рассеяния для системы двух частиц.

Аналитическое продолжение двухчастичных Т-матрицы и матрицы рассеяния на нефизический лист энергии. Явные представления для Т- и S-матриц, аналитически продолженных на нефизический лист, в терминах Т-матрицы на физическом листе. Связанные состояния и резонансы как полюса и нули матрицы рассеяния на физическом листе.

4. Т-матрица и оператор рассеяния для многоканальной системы с бинарными каналами.

Многоканальный оператор Шредингера с бинарными каналами. Т-матрица, волновые операторы, матрицы рассеяния, амплитуды и сечения рассеяния в многоканальной задаче.

Риманова поверхность энергии для многоканального оператора Шредингера с бинарными каналами. Аналитическое продолжение Т-матрицы и матрицы рассеяния на нефизические листы. Явные представления для Т- и S-матриц на нефизических листах в терминах Т-матрицы на физическом листе. Резонансы как нули усечений матрицы рассеяния на физическом листе. Физический смысл собственных векторов матрицы рассеяния при резонансных энергиях.

5. Интегральные уравнения Фаддеева и теория рассеяния для системы трех частиц

Кинематика системы трех частиц. Приведенные относительные координаты и импульсы Якоби. Нефредгольмовость уравнений Липпмана-Швингера для трехчастичной Т-матрицы. Алгебраическая схема вывода интегральных уравнений Фаддеева для компонент Т-матрицы.

Строение трехчастичной T-матрицы на основании анализа уравнений Фаддеева в случае быстро убывающих парных потенциалов. Трехчастичные волновые операторы. Строение трехчастичного оператора рассеяния и матриц рассеяния. Амплитуды и фазы упругого рассеяния, амплитуды перестройки и развала.

Нефредгольмовость уравнений Фаддеева в случае кулоновских и других медленно убывающих взаимодействий. Полнота трехчастичных волновых операторов и унитарность оператора рассеяния в случае быстро убывающих потенциалов. Специальные случаи системы трех частиц: эффект Томаса и эффект Ефимова.

Волновые функции дискретного и непрерывного спектра системы трех частиц в импульсном и координатном представлении в случае быстро убывающих потенциалов. Координатные асимптотики компонент Фаддеева волновых функций для процессов рассеяния $2 \rightarrow 2,3$ и $3 \rightarrow 2,3$.

б. Задача трех частиц в конфигурационном пространстве. Дифференциальные уравнения Фаддеева

Дифференциальные уравнения Фаддеева для компонент волновой функции в координатном представлении. Краевые задачи для дифференциальных уравнений Фаддеева. Методы численного решения дифференциальных уравнений Фаддеева.

Практические занятия (семинары)

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование практических занятий (семинаров)
1	1	Гильбертово пространство. Операторы в гильбертовом пространстве
2	1	Спектры самосопряженных операторов
3	2	Волновые операторы и оператор рассеяния. Сечение рассеяния классической и квантовой частицы на потенциале
4	3	Двухчастичная T-матрица и ее свойства. Ядра двухчастичных волновых операторов как собственные функции непрерывного спектра
5	3	Аналитическое продолжение двухчастичных T-матрицы и матрицы рассеяния на нефизический лист энергии
6	4	T-матрица, волновые операторы, матрицы рассеяния, амплитуды и сечения рассеяния в многоканальной задаче

7	4	Явные представления для T- и S-матриц на нефизических листах в терминах T-матрицы на физическом листе
8	5	Кинематика системы трех частиц. Алгебраическая схема вывода интегральных уравнений Фаддеева для компонент T-матрицы.
9	5	Строение трехчастичной T-матрицы на основании анализа уравнений Фаддеева в случае быстро убывающих парных потенциалов
10	5	Специальные случаи системы трех частиц: эффект Томаса и эффект Ефимова. Волновые функции дискретного и непрерывного спектра системы трех частиц в импульсном и координатном представлении в случае быстро убывающих потенциалов
11	6	Дифференциальные уравнения Фаддеева для компонент волновой функции в координатном представлении

7. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. **Бирман М.Ш. Соломяк М. З.** Спектральная теория самосопряженных операторов в гильбертовом пространстве. СПб.: Лань, 2010.

2. **Тейлор Дж.** Теория рассеяния. Квантовая теория нерелятивистских столкновений / Тейлор Джон; - М.: Мир, 1975.

Статьи в периодических изданиях

3. **Л. Д. Фаддеев.** Математические вопросы квантовой теории рассеяния для системы трех частиц. // Тр. МИАН СССР. Т.69. С. 1-123. М.-Л.: Изд. АН СССР, 1963.

4. **А.К.Мотовилов.** Аналитическое продолжение матрицы рассеяния в многоканальной задаче. // ТМФ. 1993. Т. 95. ? 3. С. 427-438.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

5. **С. П. Меркурьев, Л. Д. Фаддеев.** Квантовая теория рассеяния для систем нескольких частиц. М.: Наука, 1985.

6. **А. И. Базь, Я. Б. Зельдович, А.М.Переломов.** Рассеяние, реакции и распады в нерелятивистской квантовой механике. М.: Наука, 1971.

7. **В. Б. Беляев.** Лекции по теории малочастичных систем. М.: Энергоатомиздат, 1986.

8. **Р. Ньютон.** Теория рассеяния волн и частиц. М.: Мир, 1969.

9. **Л. Д. Фаддеев, О. А. Якубовский.** Лекции по квантовой механике для студентов-математиков. Л.: ЛГУ, 1980.