

Федеральное агентство по образованию Российской Федерации
Санкт-Петербургский государственный университет
Физический факультет

Рассмотрена и рекомендована на заседании
кафедры квантовой механики
Протокол _____

Зав. кафедрой

В.М.Шабаев

УТВЕРЖДАЮ:
декан факультета

_____ А.С.Чирцов

УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Квантовополевые методы в теории конденсированного состояния»
по
ОСНОВНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЕ

010700 Физика

Разработчик: Д.Н. Аристов
Рецензент: Ю.Ю. Дмитриев

Санкт-Петербург 2010

1. Организационно-методический раздел

1.1. Цель изучения дисциплины:

Формирование у магистрантов, обучающихся по учебному плану кафедры квантовой механики, представлений о современной квантовой теории конденсированного состояния.

1.2. Задачи курса

Задачами курса являются ознакомление магистрантов с методами квантовой теории поля, применяемыми в современной теории конденсированного состояния на примере нескольких традиционных направлений исследований.

1.3. Место курса в профессиональной подготовке выпускника:

Курс дает необходимые знания о ряде направлений в современной физике конденсированного состояния и применяемых в них теоретических методах. Курс является необходимой частью базового образования физика-теоретика, специализирующегося по научным направлениям, представленным на кафедре квантовой механики.

1.4. Требования к уровню освоения содержания курса:

Прослушав курс, студенты должны знать методы квантовой теории, применяемые для анализа колебаний решетки, возбуждений в упорядоченных магнетиках, сверхпроводящего состояния, коллективных возбуждений в сильнокоррелированных одномерных системах, понимать современную научную литературу по квантовой теории конденсированного состояния, знать главные особенности физики систем с пониженной симметрией и размерностью. Они должны знать и понимать основные приемы и методы в данной области.

2. Объем и распределение часов курса по видам занятий. Формы контроля.

№ п/п	Наименование модулей, разделов, (тем)	Аудиторные занятия			Самостоятельная работа	Общая трудоемкость
		Лекции	Практич. зан. (семинары, лаб. раб.)	Всего		
1	2	3	4	6	7	8
1	Часть 1. Квантовая теория колебаний кристалла	8		8	2	10

2	Часть 2. Спиновые волны в магнитоупорядоченных кристаллах	8		8	2	10
3	Часть 3. Введение в теорию сверхпроводимости	16		16	4	20
4	Часть 4. Модель Латтинжера в одном пространственном измерении	16		16	4	20
Итого:		48			12	60

48 часов лекций и 12 часов самостоятельных занятий в 12 семестре. Экзамен в 12 семестре.

3. Форма текущего, промежуточного и итогового контроля

- Текущий контроль проводится по результатам самостоятельной работы в виде ответов на вопросы, консультаций и обсуждений.
- Экзамен в устной форме по материалу, изученному в 12 семестре.

4. Содержание курса

4.1 Основные вопросы и разделы лекционного курса. Краткое содержание.

Курс состоит из пяти частей.

Первая часть начинается с краткого обсуждения теории колебаний кристаллической решетки, рассматривается квантование колебаний, акустические и оптические фононы, взаимодействие фононов за счет ангармонизма. Определяются функции Грина, обсуждаются нулевые колебания, неустойчивость решетки в одном и двух пространственных измерениях.

Вторая часть посвящена теории элементарных возбуждений (магнонов) в упорядоченных магнетиках. Обсуждаются алгебра спиновых операторов, микроскопический обменный гамильтониан спинов, наличие анизотропии обмена. Приводятся различные бозе-представления спиновых операторов, выводятся гамильтониан спиновых волн, дисперсия магнонов в случае ферромагнетика и антиферромагнетика, также при наличии внешнего магнитного поля и анизотропии. Показывается наличие щели в спектре при наличии анизотропии обмена. Выводится динамическая восприимчивость спиновой системы. Обсуждается связь линейной теории спиновых волн с квазиклассическим подходом в теории поля. Рассматриваются вопросы нулевых колебаний, дальнего порядка, взаимодействия магнонов при выходе за рамки линейного спин-волнового приближения.

1

Третья часть посвящена теории сверхпроводимости. Даются общие сведения, обосновывается выбор модели, приводится гамильтониан взаимодействия в модели Бардина-

Купера-Шриффера. Обсуждается феномен Купера, неустойчивость основного состояния ферми-частиц относительно притяжения. Затем обсуждается существование спаренных состояний (куперовских пар), энергетическая щель в спектре, возбуждения, представление Намбу. Выводятся уравнения для эффекта Мейсснера, сверхпроводящего состояния во внешнем электромагнитном поле, разбирается лондоновский и пиппардовский случай. Показывается связь с феноменологической теорией Гинзбурга-Ландау. Вводится понятие сверхпроводников первого и второго рода, обсуждается наличие вихревых состояний в магнитном поле. Приводятся краткие сведения по высокотемпературной сверхпроводимости в купратах. Обсуждаются вопросы анизотропии спектра и сверхпроводящей щели.

Четвертая часть посвящена электронным и спиновым системам в одном пространственном измерении. Рассматривается спин-фермионное преобразование Йордана-Вигнера, переход от модели на решетке к континуальному пределу. Разбирается фермион-бозонное соответствие, лежащее в основе метода бозонизации. Строится модель Латтинжера и ее решение методом бозонизации. Обсуждается появление аномальной скейлинговой размерности фермиона и неуниверсальных индексов убывания корреляций.

4.2 Контрольно-измерительные материалы для экзамена

Окончательный контроль знаний по дисциплине осуществляется на экзаменах, проводимых в устной форме.

Примерный перечень вопросов к экзамену по курсу

- 1) Уравнение малых колебаний для простой решетки, закон дисперсии.
- 2) Квантование колебаний, фононы
- 3) Квантовомеханическое определение функций Грина
- 4) Ангармонизм колебаний решетки и взаимодействие фононов
- 5) Акустические фононы. Уравнение Клейна-Фока-Гордона.
- 6) Оптические фононы, поляризация колебаний
- 7) Нулевые колебания, фактор Дебая-Валлера, неустойчивость решетки в одном и двух измерениях
- 8) Алгебра спиновых операторов, бозонные и фермионные представления для спиновых операторов
- 9) Обменный гамильтониан Гейзенберга, возникновение косвенного обмена, анизотропия обмена.
- 10) Линейная теория спиновых волн в ферромагнетике, спектр, восприимчивость
- 11) Спиновые волны в антиферромагнетике типа легкая ось, спектр, спин-флоп переход.
- 12) Антиферромагнетик с анизотропией типа легкая ось, спектр, восприимчивость.
- 13) Антиферромагнетик во внешнем поле. Связь с квазиклассическим подходом.
- 14) Нулевые колебания и дальний порядок в квазидвумерном гейзенберговском антиферромагнетике.
- 15) Электрон-фононное взаимодействие и модель БКШ.
- 16) Неустойчивость основного состояния ферми газа относительно притяжения между частицами.
- 17) Аномальные средние сверхпроводящего типа, представление Намбу.
- 18) Уравнение на щель, спектр возбуждений сверхпроводника. Температура перехода.
- 19) Туннельная плотность состояний, также в случае анизотропии щели.
- 20) Эффект Мейсснера, сверхпроводник во внешнем электромагнитном поле.
- 21) Связь теории БКШ с теорией Гинзбурга-Ландау.

- 22) Сверхпроводники первого и второго рода, вихри Абрикосова.
- 23) Преобразование Йордана-Вигнера
- 24) Фермионы на решетке и континуальный предел
- 25) Хиральные фермионы и хиральные бозоны, бозонизация.
- 26) Модель Латтинжера и ее решение в бозонизации.
- 27) Аномальная скейлинговая размерность операторов.
- 28) Точка Лютера-Эмери и переход металл-диэлектрик.

4.3. График контрольных мероприятий

Основной формой текущего контроля являются обсуждения и консультации, регулярно проводимые преподавателем параллельно с чтением лекций.

Экзамены проводятся в соответствии с расписанием экзаменационных сессий.

5. Учебно-методическое обеспечение курса

6. Рекомендуемая литература

6. Основная литература

- 1) А. А. Абрикосов, Л. П. Горьков, И. Е. Дялошинский, Методы квантовой теории поля в статистической физике. Москва, Наука, 1963.
- 2) Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц, Теоретическая физика, т. 9, Статистическая физика, ч. 2. Москва, Физматлит, 2004.
- 3) А.А. Абрикосов, Основы теории металлов. Москва, Наука, 1987.
- 4) Дж. Шриффер, Теория сверхпроводимости. Москва, ИЛ, 1970.
- 5) А.М. Косевич, Основы механики кристаллической решетки. М.: Наука, 1972
- 6) Schulz H., Cuniberti G., Pieri P. «Fermi liquids and Luttinger liquids», in Field Theories for Low-Dimensional Condensed Matter Systems, Springer, 2000; [arXiv:cond-mat/9807366v2](https://arxiv.org/abs/cond-mat/9807366v2)

6. Дополнительная литература

- 1) А. С. Давыдов, Теория твердого тела. Москва, Наука, 1976.
- 2) Ю.М. Гальперин, Introduction to Modern Solid State Physics, 477 pp., lecture notes in Oslo university, <http://folk.uio.no/yurig/>
- 3) Helmut Eschrig, Microscopic Theory of Superconductivity, 65 pp., 2008. <http://www.ifw-dresden.de/institutes/itf/members/helmut>
- 4) T. Giamarchi, Quantum Physics in One Dimension, Oxford, Clarendon Press, 2003.