

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

---

Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
«Южный федеральный университет»

**А. Э. Мясникова**

# **ЭЛЕКТРОН-ФОНОННЫЕ СИСТЕМЫ СО СПОНТАННЫМ НАРУШЕНИЕМ ТРАНСЛЯЦИОННОЙ СИММЕТРИИ**

Ростов-на-Дону  
Издательство Южного федерального университета  
2010

УДК 538.958

ББК 22.37

М 99

*Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Южного федерального университета*

**Рецензенты:**

зав. кафедрой теоретической и вычислительной физики ЮФУ,  
доктор физико-математических наук, профессор *Бугаев Л. А.*;

доктор физико-математических наук,

профессор кафедры нанотехнологий ЮФУ *Рошаль С. Б.*;

доктор физико-математических наук,

профессор кафедры физики ДГТУ *Никифоров И. Я.*;

доктор физико-математических наук,

профессор кафедры «Физика» РГУПС *Лагутин Б. М.*

*Монография подготовлена и издана в рамках национального проекта  
«Образование» по «Программе развития федерального государственного  
образовательного учреждения высшего профессионального образования  
“Южный федеральный университет” на 2007–2010 гг.»*

**Мясникова А. Э.**

М 99

Электрон-фононные системы со спонтанным нарушением трансляционной симметрии: монография / А. Э. Мясникова. – Ростов н/Д: Изд-во ЮФУ, 2010. – 240 с.

ISBN 978-5-9275-0741-2

Монография посвящена сильно взаимодействующим электрон-фононным системам, в которых возникает большое количество принципиально новых эффектов. Особое внимание уделено таким явлениям, как спонтанное нарушение трансляционной симметрии системы и формирование фононного конденсата при образовании полярона сильной связи, распад фононного конденсата при фотодиссоциации такого полярона и его проявление в спектрах оптической проводимости и фотоэмиссионной спектроскопии. Проанализировано влияние пространственной дисперсии решеточной поляризуемости на движение полярона по кристаллу. Актуальность исследования сильно взаимодействующих электрон-фононных систем обусловлена необходимостью понимания экспериментально наблюдаемых свойств допированных сильнополярных диэлектриков, таких как купраты, демонстрирующие высокотемпературную сверхпроводимость.

Для студентов, аспирантов и научных сотрудников, занимающихся исследованиями в области физики твердого тела, теоретической физики и нанотехнологий.

ISBN 978-5-9275-0741-2

УДК 538.958

ББК 22.37

© Мясникова А. Э., 2010

© Южный федеральный университет, 2010

© Оформление. Макет. Издательство

Южного федерального университета, 2010

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	7
----------------	---

ГЛАВА 1. ОСНОВЫ ТЕОРИИ ПОЛЯРОНОВ .....	11
--	----

1.1. Электрон-фононное взаимодействие. Полярон большого радиуса (ПБР). Энергия связи ПБР при классическом рассмотрении поля поляризации .....	11
1.2. Гамильтониан Фрелиха .....	20
1.3. Полярон слабой и промежуточной связи .....	23
1.4. Сильное электрон-фононное взаимодействие .....	26
1.5. Метод интегрирования по траекториям Фейнмана в теории поляронов .....	28
1.6. Полярон малого радиуса .....	30
1.7. Учет пространственной дисперсии (ПД) поляризуемости кристаллической решетки в теории поляронов .....	32
1.8. Зависимость равновесной скорости полярона от приложенного поля .....	36
1.9. Оптические свойства систем с ПБР .....	40

ГЛАВА 2. КВАНТОВО-КОГЕРЕНТНОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЛЯ ПОЛЯРИЗАЦИИ В ПОКОЯЩЕМСЯ ПБР И СПОНТАННОЕ НАРУШЕНИЕ ТРАНСЛЯЦИОННОЙ СИММЕТРИИ В СИСТЕМЕ СИЛЬНО ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ НОСИТЕЛЯ ЗАРЯДА И ФОНОННОГО ПОЛЯ .....	45
---	----

2.1. Нерешенные вопросы теории ПБР и эффективность использования в ней аппарата квантово-когерентных состояний .....	45
2.2. Некоторые свойства когерентных состояний .....	50
2.3. Определение параметров деформации фононного вакуума в ПБР вариационным методом .....	53
2.4. Соотношение когерентной и флуктуирующей частей фононного поля в ПБР при сильном электрон-фононном взаимодействии .....	60

2.5. Возможность спонтанного нарушения трансляционной симметрии замкнутой системы взаимодействующих полей в однородном пространстве .....	63
2.6. Спонтанное нарушение трансляционной симметрии и движение ПБР .....	66
2.7. Фононный конденсат в ПБР .....	70
2.8. Величина энергии связи носителя в ПБР в случае взаимодействия с несколькими фононными ветвями .....	72
2.9. Выводы .....	78

### **ГЛАВА 3. РАСПАД ФОНОННОГО КОНДЕНСАТА ПРИ ФОТОДИССОЦИАЦИИ ПБР И ЕГО ПРОЯВЛЕНИЕ В ОПТИЧЕСКИХ И ФОТОЭМИССИОННЫХ СПЕКТРАХ СЛАБОДОПИРОВАННЫХ КУПРАТОВ .....**

3.1. Фотодиссоциация ПБР .....	80
3.2. Превращение фононной шубы ПБР после его внезапной «ионизации» .....	85
3.3. Полоса в спектре оптической проводимости, обусловленная фотодиссоциацией покоящихся ПБР .....	90
3.4. Полоса в спектрах ARPES, обусловленная фотодиссоциацией ПБР при нулевой температуре .....	99
3.5. Сравнение фотоэмиссионных и оптических спектров, обусловленных фотодиссоциацией ПБР, с экспериментом и с результатами теории с классическим рассмотрением поля поляризации в ПБР .....	101
3.6. Влияние температуры и концентрации носителей на полосы в спектрах оптической проводимости и ARPES, обусловленные фотодиссоциацией ПБР .....	118
3.7. Выводы .....	122

## ГЛАВА 4. ЭФФЕКТЫ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ДИСПЕРСИИ РЕШЕТОЧНОЙ ПОЛЯРИЗУЕМОСТИ (ПД РП) В ТЕОРИИ ПБР ..... 124

- 4.1. Необходимость учета пространственной дисперсии (ПД) фононной поляризуемости в теории ПБР ..... 124
- 4.2. Модель среды с двухкомпонентной поляризуемостью кристаллической решетки при учете ее пространственной дисперсии ..... 127
- 4.3. Уравнения движения фононного поля с учетом ПД РП и их функция Грина ..... 132
- 4.4. Зонная структура спектра носителей заряда, обусловленная их автолокализацией ..... 134
- 4.5. Энергетическая эффективная масса ПБР ..... 138
- 4.6. Продольная инертная масса ПБР ..... 146
- 4.7. Тензор инертной массы ПБР ..... 151
- 4.8. Аппроксимация зависимости энергетической эффективной массы и компонент тензора инертной массы ПБР от его скорости и максимальной групповой скорости фононов ..... 155
- 4.9. Когерентное квазичеренковское излучение волны поляризации движущимся ПБР ..... 158
- 4.10. Свойства когерентного фононного излучения, порождаемого движущимся ПБР, и возможности его экспериментального наблюдения ..... 163
- 4.11. Эффекты резонанса с колебаниями среды при движении в ней ПБР: фермиевский параметрезон (ФП) ..... 166
- 4.12. Резонансное спаривание ОП: бозевский параметрезон (БП) ..... 172
- 4.13. Выводы ..... 182

## ГЛАВА 5. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ ФУНКЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА В СИСТЕМАХ, ГДЕ ВОЗМОЖНО ФОРМИРОВАНИЕ ПБР, И ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОВЕДЕНИЕ ТАКИХ СИСТЕМ .... 185

5.1.	Особенности функции распределения носителей заряда в системах, где возможно формирование ПБР .....	185
5.2.	Функция распределения носителей заряда в системе с однокомпонентной поляризуемостью .....	188
5.3.	Температурное поведение химического потенциала и концентрации носителей заряда в различных состояниях в системе с однокомпонентной поляризуемостью .....	191
5.4.	Функция распределения носителей заряда в системе с многокомпонентной поляризуемостью .....	196
5.5.	Статистика систем, содержащих поляроны и биполароны .....	200
5.6.	Выводы, следующие из анализа функции распределения носителей .....	202
5.7.	Поляронное «окно» в зоне проводимости .....	203
5.8.	Автолокализация носителей и поляронные «окна» в валентной зоне .....	208
5.9.	Температурная зависимость удельного сопротивления систем, в которых возможно формирование ПБР .....	213
5.10.	Торможение поляронов когерентным излучением фононов и колоссальное увеличение сопротивления .....	219
5.11	Выводы .....	221
<b>Заключение: основные результаты и выводы .....</b>		<b>223</b>
<b>Литература .....</b>		<b>226</b>
<b>Список используемых сокращений .....</b>		<b>238</b>