

УДК 537.611; 538.915

Интернет-магазин

MAFFESS

<http://shop.rcd.ru>

- физика
- математика
- биология
- нефтегазовые технологии



Издание осуществлено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований по проекту №06-02-30029.

Изюмов Ю. А., Чашин Н. И., Алексеев Д. С.

Теория сильно коррелированных систем. Метод производящего функционала. — М.-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика»; Институт компьютерных исследований, 2006. — 384 с.

На основе единого подхода в книге дается изложение базовых моделей в теории сильно коррелированных систем: моделей Гейзенберга, Хаббарда, tJ-модели, sd-модели, модели двойного обмена и периодической модели Андерсона, использующихся для описания физических явлений в переходных и редкоземельных металлах, их сплавах и соединениях.

Книга рассчитана не только на физиков-теоретиков, но и на более широкий круг читателей благодаря включению в каждую главу, посвященную электронной модели, большого обзора результатов теоретических исследований модели различными другими методами, используемыми в литературе.

ISBN 5-93972-502-3

© Ю. А. Изюмов, Н. И. Чашин, Д. С. Алексеев, 2006

© НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2006

<http://rcd.ru>

<http://ics.org.ru>

Оглавление

| | |
|---|----|
| Предисловие | 7 |
| ГЛАВА 1. Введение | 9 |
| 1.1. Базовые модели в теории спиновых и сильно коррелированных электронных систем | 9 |
| 1.1.1. Основные группы базовых моделей | 9 |
| 1.1.2. Гамильтонианы моделей | 10 |
| 1.1.3. Методы исследования моделей | 14 |
| 1.2. Метод производящего функционала для обычных ферми-систем | 15 |
| 1.2.1. Введение производящего функционала | 15 |
| 1.2.2. Уравнение движения для электронной функции Грина в вариационных производных по флуктуирующим полям | 18 |
| 1.2.3. Итерации уравнений и диаграммное представление рядов | 20 |
| 1.2.4. Бозонные функции Грина | 22 |
| 1.2.5. Связь со стандартной теорией возмущений | 27 |
| 1.3. Обобщение метода производящего функционала и теория возмущений вблизи атомного предела | 29 |
| 1.3.1. Модели, описываемые в терминах X -операторов | 29 |
| 1.3.2. Модели, описываемые в терминах спиновых операторов | 32 |
| 1.3.3. Теория возмущения вблизи атомного предела | 33 |
| ГЛАВА 2. Модель Гейзенберга | 36 |
| 2.1. Производящий функционал и спиновые функции Грина | 36 |
| 2.1.1. Введение производящего функционала | 36 |
| 2.1.2. Уравнение для функции Грина поперечных спиновых компонент | 38 |
| 2.2. Динамика поперечных спиновых компонент | 42 |
| 2.2.1. Вычисление собственно энергетической и концевой частей | 42 |

| | | |
|----------|---|-----|
| 2.2.2. | Затухание спиновых волн | 44 |
| 2.3. | Диаграммная техника для спиновых операторов | 46 |
| 2.3.1. | Теорема Вика для спиновых операторов | 46 |
| 2.3.2. | Усреднение продольных компонент спинов | 50 |
| 2.3.3. | Правила диаграммной техники | 52 |
| 2.3.4. | Уравнение Ларкина | 56 |
| 2.3.5. | Сравнение метода производящего функционала и диаграммной техники | 59 |
| 2.4. | Динамика продольных спиновых компонент | 59 |
| 2.4.1. | Суммирование петлевых диаграмм | 62 |
| 2.4.2. | Выделение сингулярного вклада | 66 |
| 2.4.3. | Продольные флуктуации за пределами гидродинами- ческого режима | 67 |
| 2.5. | Модель Гейзенберга с одноионной анизотропией | 69 |
| 2.5.1. | Введение X -операторов | 69 |
| 2.5.2. | Уравнение для функции Грина поперечных компонент | 71 |
| ГЛАВА 3. | Модель Хаббарда | 75 |
| 3.1. | Предел бесконечного кулоновского взаимодействия U | 75 |
| 3.1.1. | Гамильтониан модели в терминах X -операторов | 75 |
| 3.1.2. | Электронная функция Грина в пределе $U = \infty$ | 76 |
| 3.1.3. | Итерации уравнений для электронной функции Грина | 80 |
| 3.1.4. | Сравнение с диаграммной техникой для X -операторов | 88 |
| 3.1.5. | Обобщенное приближение хаотических фаз | 95 |
| 3.2. | Модель при конечном кулоновском взаимодействии | 102 |
| 3.2.1. | Формализм X -операторов | 102 |
| 3.2.2. | Уравнение движения для электронной функции Грина | 104 |
| 3.2.3. | Итерации в уравнениях для собственно энергетиче- ской и концевой частей | 110 |
| 3.2.4. | Приближение среднего поля | 115 |
| 3.2.5. | Вычисление собственно энергетической и концевой частей электронной функции Грина | 124 |
| 3.3. | Бозонные функции Грина | 127 |
| 3.3.1. | Основные определения | 127 |
| 3.3.2. | Функция Грина магновов | 128 |
| 3.3.3. | Функция Грина дублонов | 132 |
| 3.4. | Динамические флуктуации в гидродинамическом режиме | 137 |
| 3.4.1. | Дублоны | 137 |
| 3.4.2. | Магноны | 139 |
| 3.5. | Обзор теоретических исследований модели Хаббарда | 140 |

| | | |
|----------|--|-----|
| 3.5.1. | Расцепление уравнений движения | 140 |
| 3.5.2. | Теория динамического среднего поля (предел бесконечной размерности пространства) | 161 |
| 3.5.3. | Вариационные методы | 178 |
| 3.5.4. | Метод вспомогательных бозонов | 182 |
| 3.5.5. | Основные корреляционные эффекты | 187 |
| ГЛАВА 4. | tJ-модель | 192 |
| 4.1. | Электронная функция Грина | 192 |
| 4.1.1. | Вывод гамильтониана tJ-модели | 192 |
| 4.1.2. | Уравнение для электронной функции Грина | 194 |
| 4.1.3. | Итерации уравнений | 196 |
| 4.2. | Функция Грина магнонов | 200 |
| 4.2.1. | Использование уравнения движения | 200 |
| 4.3. | Обзор теоретических исследований tJ-модели | 203 |
| 4.3.1. | tJ-модель — основная электронная модель ВТСП-соединений | 203 |
| 4.3.2. | Дырка в антиферромагнитной матрице | 205 |
| 4.3.3. | Магнитный полярон | 212 |
| 4.3.4. | Спиновая жидкость | 229 |
| 4.3.5. | Фазовая диаграмма | 235 |
| ГЛАВА 5. | sd-модель | 243 |
| 5.1. | Электронная функция Грина | 243 |
| 5.1.1. | Производящий функционал модели | 243 |
| 5.1.2. | Уравнение движения для электронной функции Грина | 245 |
| 5.2. | Функция Грина магнонов | 248 |
| 5.2.1. | Уравнение движения для магнонной функции Грина | 248 |
| 5.2.2. | Спектр спиновых волн и затухание | 251 |
| 5.3. | Сильная sd-обменная связь | 255 |
| 5.3.1. | Диагонализация sd-обменного гамильтониана и введение X-операторов | 255 |
| 5.3.2. | Уравнение движения для электронной функции Грина | 259 |
| 5.3.3. | Предел $ J = \infty$ | 264 |
| 5.3.4. | Предел $S \rightarrow \infty$ | 270 |
| 5.4. | Модель двойного обмена | 274 |
| 5.4.1. | Эффективный гамильтониан модели | 274 |
| 5.4.2. | Электронная функция Грина | 277 |
| 5.4.3. | Магнонная функция Грина | 278 |

| | |
|--|------------|
| 5.5. Модель двойного обмена с классическим локализованным спином | 281 |
| 5.5.1. Вывод эффективного гамильтониана | 281 |
| 5.5.2. Метод динамического среднего поля для модели двойного обмена | 284 |
| 5.6. Обзор теоретических исследований sd-модели | 292 |
| 5.6.1. Кондо-резонанс в однопримесной sd-модели | 292 |
| 5.6.2. Решетка Кондо | 295 |
| 5.6.3. Скэйлинговый анализ магнитоупорядоченных кондо-систем | 300 |
| ГЛАВА 6. Периодическая модель Андерсона | 303 |
| 6.1. Периодическая модель Андерсона в методе производящего функционала | 303 |
| 6.1.1. Гамильтониан и электронные функции Грина | 303 |
| 6.1.2. Введение X -операторов | 305 |
| 6.1.3. Уравнения движения для электронных функций Грина | 307 |
| 6.2. Периодическая модель Андерсона в пределе $U = \infty$ | 311 |
| 6.2.1. Простейшие приближения для электронной функции Грина | 311 |
| 6.2.2. Структура квазичастичного спектра | 314 |
| 6.3. Спиновые флуктуации в гидродинамическом режиме | 318 |
| 6.4. Обзор теоретических исследований периодической модели Андерсона | 320 |
| 6.4.1. Тяжелые фермионы | 320 |
| 6.4.2. Однопримесная модель Андерсона | 323 |
| 6.4.3. Ранние аналитические исследования проблемы РАМ | 330 |
| 6.4.4. Теория динамического среднего поля | 336 |
| 6.4.5. Фазовая диаграмма модели | 344 |
| ГЛАВА 7. Заключение | 355 |
| 7.1. Суть метода производящего функционала | 355 |
| 7.2. Общие черты моделей сильно коррелированных систем | 360 |
| Приложение | 362 |
| Уравнение движения для произвольной функции Грина | 362 |
| Литература | 364 |