

УДК 630.145:621.37/39(075.8)

ББК 2.314я73

М207

*Печатается по решению кафедры радиотехнической электроники и наноэлектроники Института нанотехнологий, электроники и приборостроения Южного федерального университета (протокол № 10 от 10 июня 2022 г.)*

#### **Рецензенты:**

кандидат технических наук, начальник НТЦ АО «Калугаприбор»

*И. В. Бессонов*

кандидат физико-математических наук, заведующий кафедрой физики

Института нанотехнологий, электроники и приборостроения

Южного федерального университета *А. Б. Колтачев*

**Малышев, И. В.**

М207 Влияние внешних воздействий на квантово-механические процессы в материалах радиоэлектроники : учебное пособие / И. В. Малышев, Н. В. Паршина ; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2022. – 171 с.

ISBN 978-5-9275-4259-8

Настоящее учебное пособие представляет собой вторую часть рабочего материала, входящего в состав программы курса «Квантовая механика и статистическая физика», изучаемых в бакалаврских направлениях подготовки 11.00.00 «Электроника, радиотехника и системы связи». В пособии изложены разделы квантовой механики, посвященные внешним воздействиям температуры и магнитных полей, а также образованию поверхностных и объёмных дефектов и их учёту в рассмотрении изменений энергетических состояний, которые влияют на свойства некоторых материалов радиоэлектроники. Подробно рассмотрены теория сверхпроводимости металлов, образование и взаимодействие ряда квазичастиц: поверхностных поляритонов, спиновых волн, плазмонов и магнонов при указанных внешних воздействиях. В учебном пособии также имеются контрольные вопросы для проверки уровня освоения материала.

Пособие предназначено для курсов, изучаемых в бакалаврских направлениях подготовки 11.00.00 «Электроника, радиотехника и системы связи», но может быть использовано и для обучающихся на других направлениях.

УДК 630.145:621.37/39(075.8)

ББК 2.314я73

ISBN 978-5-9275-4259-8

© Южный федеральный университет, 2022

© Малышев И. В., Паршина Н. В., 2022

© Оформление. Макет. Издательство

Южного федерального университета, 2022

## СОДЕРЖАНИЕ

|   |     |
|---|-----|
| ВВЕДЕНИЕ .....  | 5   |
| 1. ПОВЕДЕНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ГАЗА В УСЛОВИЯХ<br>СЛАБЫХ И СИЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ .....                     | 6   |
| 1.1. Поведение электронного газа в слабых магнитных полях .....   | 6   |
| 1.2. Магнитные свойства электронного газа в условиях воздей-<br>ствия сильных полей .....               | 13  |
| 1.3. Понятия о квантовой ферми-жидкости и её элементарных<br>электронных возбуждениях в металлах .....  | 18  |
| 1.4. Экситоны связанных состояний (Ванье-Мотта) .....   | 30  |
| 2. МАГНИТОУПОРЯДОЧЕННЫЕ СОСТОЯНИЯ<br>КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СТРУКТУР. МАГНОНЫ .....                            | 38  |
| 2.1. Типы состояний магнитоупорядоченных твердотельных струк-<br>тур .....                              | 38  |
| 2.2. Магнитно-фазовые превращения. Молекулярное поле Вейсса   | 41  |
| 2.3. Спиновые гамильтонианы магнитоупорядоченных систем ...   | 50  |
| 2.4. Спиновые волны и магноны в ферромагнетиках .....   | 54  |
| 2.5. Эффекты взаимодействия магнонов, теплоемкость магнон-<br>ного газа и статистические свойства ..... | 62  |
| 2.6. Поведение магнонов и спиновых волн в антиферромагнит-<br>ных материалах .....                      | 65  |
| 3. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРОНОВ И ФОНОНОВ<br>В ОБЪЁМАХ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ РЕШЁТОК .....                       | 69  |
| 3.1. Применение в ковалентных кристаллах метода потенциала<br>деформации .....                          | 70  |
| 3.2. Взаимодействие электронов и фононов в объёмах ионных<br>кристаллов .....                           | 77  |
| 3.3. Квантово-механическое представление сверхпроводимости  | 87  |
| 4. СПЕКТРАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ<br>ВОЗБУЖДЕНИЙ С УЧЕТОМ ДЕФЕКТОВ СТРУКТУРЫ<br>КРИСТАЛЛОВ .....      | 104 |
| 4.1. Классификация дефектов .....   | 104 |

*Содержание*

---

|   |     |
|---|-----|
| 4.2. Участие точечных дефектов в изменениях спектральных компонент элементарных возбуждений кристаллической структуры | 121 |
| 4.3. Понятия о поверхностных элементарных энергетических квазичастицах. Плазмоны, фононы и магноны .....              | 139 |
| 4.4. Поверхностные поляритоны .....   | 154 |
| КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ .....   | 165 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....  | 168 |
| СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....   | 169 |