ŋqdqɐəɎ bɆ dədɆbɎзə d ɕɔɑbɔɐ Ɉqddɏqɐè

УЧЕБНИК ДЛЯ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ

Ю. А. Байков
В. М. Кузнецов

ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

4-е издание, электронное

Допущено
Научно-методическим Советом
по физике Министерства образования и науки
Российской Федерации
в качестве учебного пособия
для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по техническим направлениям
подготовки и специальностям

Москва
Лаборатория знаний
2020

ŋqdqɐəɎ bɆ dədɆbɎзə d ɕɔɑbɔɐ Ɉqddɏqɐè

ŋqdqɐʎ ɓɆ dəd₣ɓʎɜə d ɛɔɑɓɔɏ Ɉqdqʎqɏè

УДК 538.9
ББК 22.37
Б18

Серия основана в 2009 г.

Рецензенты:
заведующий кафедрой наноматериалов и нанотехнологии РХТУ им. Д. И. Менделеева, доктор хим. наук, член-корреспондент РАН Е. В. Юртов;

заведующий кафедрой общей физики НИУ МФТИ, доктор физ.-мат. наук, профессор А. Д. Гладун

Байков Ю. А.

Б18 Физика конденсированного состояния : учебное пособие / Ю. А. Байков, В. М. Кузнецов. — 4-е изд., электрон. — М. : Лаборатория знаний, 2020. — 296 с. — (Учебник для высшей школы). — Систем. требования: Adobe Reader XI ; экран 10". — Загл. с титул. экрана. — Текст : электронный.

ISBN 978-5-00101-825-4

В учебном пособии, помимо традиционно сложившихся разделов физики твердого тела, отражены некоторые современные направления науки, такие как физика фотонных кристаллов, наномасштабная физика, фрактальные представления о структуре кристаллических тел. Теоретический материал каждой главы книги дополнен задачами с решениями.

Для студентов и аспирантов высших технических учебных заведений, а также преподавателей физики и других естественнонаучных дисциплин в технических вузах.

УДК 538.9
ББК 22.37

Деривативное издание на основе печатного аналога: Физика конденсированного состояния : учебное пособие / Ю. А. Байков, В. М. Кузнецов. — М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. — 293 с. : ил. — (Учебник для высшей школы). — ISBN 978-5-9963-0290-1.

В соответствии со ст. 1299 и 1301 ГК РФ при устранении ограничений, установленных техническими средствами защиты авторских прав, правообладатель вправе требовать от нарушителя возмещения убытков или выплаты компенсации

ISBN 978-5-00101-825-4

© Лаборатория знаний, 2015

ŋqdqɐʎ ɓɆ dəd₣ɓʎɜə d ɛɔɑɓɔɏ Ɉqdqʎqɏè

ŋqdqɐeⱯ dɆ dədɆdⱯзə d ɕɔɑdɔⱯ ɈqddⱯqɐè

Оглавление

Предисловие 7
Введение 9

Глава 1. Структура твердых тел. Элементы кристаллографии 13
- 1.1. Силы Ван-дер-Ваальса, их классификация 13
- 1.2. Ионная, ковалентная и металлическая связи в твердых телах. 16
- 1.3. Кристаллическая решетка. Решетки Бравэ и с базисом. Обозначения узлов, направлений и плоскостей в кристаллах (индексы Миллера) 25
- 1.4. Классификация тел по кристаллическим структурам. 29
- 1.5. Элементы симметрии в кристаллах, трансляционная симметрия, ячейка Вигнера–Зейтца. Явление полиморфизма. Классификация твердых тел по кристаллографической симметрии 32
- 1.6. Периодические функции для трансляционных векторов. Обратная решетка и ее свойства 38
- 1.7. Несовершенства и дефекты кристаллической решетки 49
- Задачи 51

Глава 2. Элементы физической статистики 56
- 2.1. Способы описания состояний макроскопической системы 56
- 2.2. Числа состояний для микрочастиц. Классическая и квантовая статистики, их особенности и условия применимости. 60
- 2.3. Невырожденные и вырожденные системы частиц. Критерий невырожденного идеального газа 64
- 2.4. Функции распределения вырожденных газов фермионов и бозонов 66

ŋqdqɐeⱯ dɆ dədɆdⱯзə d ɕɔɑdɔⱯ ɈqddⱯqɐè

ŋqdbqɏeɎ bɆ dədɆbɎɜə b ɕɔɑƃɔɏ Ɉqbdɏqɏè

2.5. Снятие вырождения. Невырожденный электронный газ . . . 73
2.6. Правила статистического усреднения 74
Задачи 76

Глава 3. Зонная теория твердых тел 80

3.1. Энергетические уровни свободных атомов. Обобществление электронов в кристаллах 80
3.2. Энергетический спектр электронов в кристалле. Зависимость энергии электронов от волнового вектора (закон дисперсии). 86
3.3. Энергия электронов в периодическом поле кристаллов . . . 90
3.4. Эффективная масса электрона 93
3.5. Заполнение энергетических зон электронами 97
Задачи 99

Глава 4. Элементарные возбуждения в твердых телах. Динамика кристаллической решетки 103

4.1. Условия возникновения элементарных возбуждений в твердых телах. Время жизни элементарных возбуждений 103
4.2. Импульс фонона. Неупругое рассеяние фотонов на акустических фононах 107
4.3. Колебания в решетке, состоящей из одинаковых атомов, в приближении Борна–Кармана (БК-приближение) 110
4.4. Динамика решетки с двумя атомами в примитивной ячейке в приближении Борна–Кармана 117
4.5. Нормальные колебания решетки кристалла 121
4.6. Спектр нормальных колебаний решетки кристалла 125
4.7. Функция распределения фононов по энергиям 128
Задачи 132

Глава 5. Тепловые свойства твердых тел 135

5.1. Теплоемкость твердого тела. Области низких и высоких температур 135
5.2. Теплоемкость электронного газа. Ангармонические взаимодействия в кристаллах 139
5.3. Уравнение теплопроводности. Тепловое сопротивление решетки кристалла, его связь с процессами переброса. N- и U-процессы передачи импульса в кристаллической решетке 142

ŋqdbqɏeɎ bɆ dədɆbɎɜə b ɕɔɑƃɔɏ Ɉqbdɏqɏè

ŋqdbqɏeɎ bɆ dədɆbɎзə b ɕɔɑbɔɏ Ɉqdbɏqɏè

5.4. Теплопроводность диэлектриков в области высоких и низких температур . . . 149
5.5. Теплопроводность металлов. Области высоких и низких температур . . . 154
5.6. Тепловые свойства наночастиц в приближении Дебая . . . 157
Задачи . . . 160

Глава 6. Электрические свойства твердых тел . . . 165

6.1. Равновесное состояние электронного газа. Дрейф электронов под влиянием внешнего электрического поля . . . 165
6.2. Время релаксации и длина свободного пробега электронов. . . . 167
6.3. Электропроводность невырожденного и вырожденного электронного газа. Связь тепловых и электрических свойств кристаллов. Закон Видемана–Франца–Лоренца . . . 170
6.4. Зависимость подвижности носителей зарядов от температуры . . . 173
6.5. Электропроводность чистых металлов и металлических сплавов . . . 179
6.6. Явление сверхпроводимости. Щели в энергетическом спектре сверхпроводника . . . 183
6.7. Образование электронных пар Купера. Теория Бардина–Купера–Шриффера сверхпроводимости в металлах и сплавах (БКШ-теория) . . . 189
6.8. Поведение сверхпроводника во внешнем электрическом и магнитном полях. Условия перехода от нормального к сверхпроводящему состоянию проводника . . . 193
6.9. Разрушение сверхпроводимости внешним полем . . . 197
Задачи . . . 198

Глава 7. Магнитные свойства твердых тел . . . 203

7.1. Магнитное поле в магнетиках. . . . 203
7.2. Магнитные свойства атомов. Классификация магнитных материалов. Полный магнитный момент атома . . . 208
7.3. Магнитная восприимчивость диамагнетиков. Диамагнетизм . . . 216
7.4. Классическая и квантовая модели парамагнетизма . . . 219
7.5. Парамагнетизм электронного газа . . . 223

ŋqdbqɏeɎ bɆ dədɆbɎзə b ɕɔɑbɔɏ Ɉqdbɏqɏè

ŋqdqɐeɎ bɆ dedɆbɎɜe d ɛɔɑbɔɐ ɈqddɎqɐè

7.6. Квантовая природа ферромагнетизма. Обменное взаимодействие и возникновение ферромагнетизма. Температуры Кюри и Нееля 225
7.7. Доменная структура ферромагнетизма 230
7.8. Антиферромагнетизм, ферримагнетизм, ферриты 232
Задачи 234

Глава 8. Фотонные кристаллы и их свойства 237
8.1. Классификация фотонных кристаллов. Особенности их поведения в микрорезонаторах и пленочных волноводах 237
8.2. Основы теории фотонных кристаллов в материалах с действительной положительной диэлектрической постоянной 244
8.3. Методы получения фотонных кристаллов и способы управления фотонами 251
Задачи 255

Глава 9. Некоторые аспекты фрактального описания макро- и наносостояний конденсированных сред . . . 258
9.1. Модели наночастиц 258
9.2. Фрактальное представление теории Дебая для макро- и наноструктур 264
9.3. Теплоемкость фрактальных макро- и микроструктур 266
9.4. Теплоемкость фрактальных наноструктур 270
9.5. Решеточная теплоемкость конденсированных сред с фрактальным фононным спектром 276
9.6. Роль ангармонизма решеточных колебаний в макро- и наноструктурах 282

Заключение 286
Литература 288

ŋqdqɐeɎ bɆ dedɆbɎɜe d ɛɔɑbɔɐ ɈqddɎqɐè