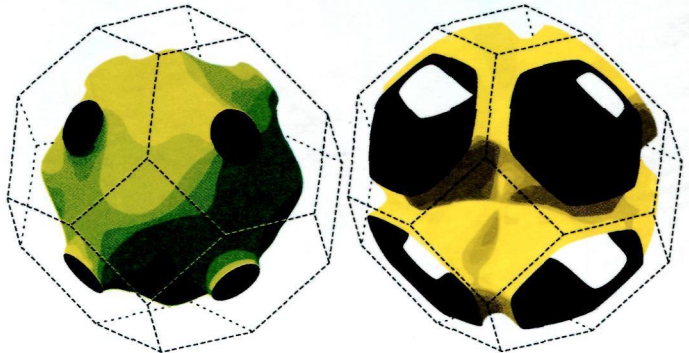
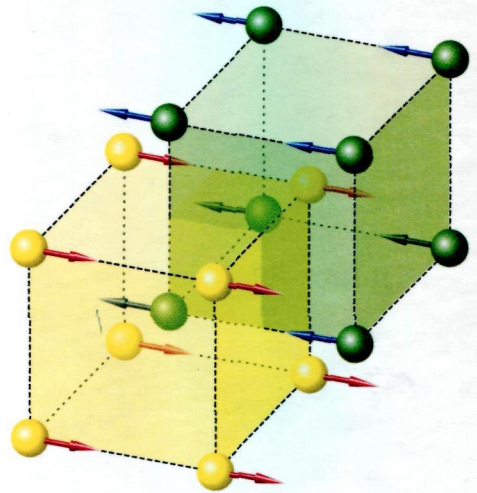


В. В. Киселев

Квантовая макрофизика

ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД



Екатеринбург

УДК 539.2: 530.145
ББК 22.37.+22.314
К 44

*Рекомендовано к изданию ученым советом
Института физики металлов и НИСО УрО РАН*

Киселев В. В.
К 44 **Квантовая макрофизика** / В.В. Киселев. – Екатеринбург: УрО РАН, 2010 г. – 356 с. (Научно-образовательная серия «Физика конденсированных сред»; 4).
ISBN 978-5-7691-2156-2

В книге из обширного круга проблем и задач отобраны вопросы, знакомство с которыми представляет необходимый элемент образования научного работника – теоретика или экспериментатора, интересующегося любым разделом физики конденсированного состояния. Вводится понятие о коллективных возбуждениях – квазичастицах как средстве анализа слабовозбужденных состояний конденсированных сред. Рассматриваются приемы теоретического описания периодической структуры кристаллов и поведение электронов в кристаллических твердых телах. Практические приложения теории проиллюстрированы при объяснении электропроводности и теплопроводности нормальных металлов, а также особенностей электрических свойств полупроводников. Рассмотрена динамика кристаллической решетки в гармоническом приближении. Обсуждаются электрон-фононное взаимодействие и его проявления в макроскопических квантовых эффектах сверхпроводников. Основные положения теории взаимодействия квантованных электромагнитных полей с веществом привлекаются для объяснения закономерностей теплового излучения и выяснения условий работы лазеров. Кратко освещены достижения и проблемы нынешнего состояния науки в области высокотемпературной сверхпроводимости, успехи в совершенствовании и миниатюризации приборов и устройств опто- и микроэлектроники на основе использования гетероструктур. Дается первое понятие о новых методах анализа сильновозбужденных состояний среды, связанных с теорией солитонов.

Монография адресована научным сотрудникам, аспирантам и студентам вузов соответствующих специальностей.

УДК 539.2: 530.145
ББК 22.37.+22.314

Ответственный редактор

доктор физико-математических наук **А.П. Танкеев**

Рецензент

доктор физико-математических наук **И.И. Ляпилин**

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение в квантовую макрофизику	5
1. Понятие о коллективных возбуждениях среды – квазичастицах	5
2. Распределение частиц по энергиям: идеальные Ферми- и Бозе-газы ..	7
Глава 1. Электроны и дырки в металлах и полупроводниках	13
1.1. Электроны в кристаллических твердых телах: формулировка упрощенной одночастичной модели	13
1.2. Теоретическое описание периодической структуры кристаллов	15
1.3. Обратная решетка. Первая зона Бриллюэна. Атомные плоскости	21
1.4. Уровни энергии электрона в периодическом потенциале. Теорема Блоха	25
1.5. Электроны в слабом периодическом поле	38
1.6. Энергия Ферми, поверхность Ферми, температура Ферми, тепловой слой Ферми для газа свободных электронов	54
1.7. Метод построения поверхности Ферми при наличии слабого потенциала: вторая и последующие зоны Бриллюэна	59
1.8. Электронная теплоемкость нормальных металлов	64
1.9. Экранирование кулоновского поля внешних электрических зарядов в металлах (модель Томаса – Ферми) и полупроводниках	75
1.10. Плазмоны и динамическое экранирование электрон-электронных взаимодействий в металлах	80
1.11. Принцип Паули и подавление электрон-электронных столкновений в металлах	84
1.12. Концепция длины свободного пробега электронов. Проводимость и теплопроводность металлов. Закон Видемана – Франца	87
1.13. Полуклассическая динамика электронов в кристалле	96
1.14. Обоснование полуклассических уравнений движения. Гамильтонова формулировка. Теорема Лиувилля	100
1.15. Отсутствие вклада в электрический ток и поток тепла от электронов из полностью заполненных зон	103
1.16. Дырки	105
1.17. Полуклассическое движение электронов кристалла в постоянных электрическом и магнитном полях	111
1.18. Общие свойства полупроводников. Концентрация электронов и дырок. Закон действующих масс	119
1.19. Собственные полупроводники	125
1.20. Примесные уровни	127
1.21. Концентрации носителей заряда и химический потенциал примесных полупроводников	131
1.22. Электропроводность полупроводников	138
1.23. Выпрямляющее действие $p - n$ -перехода. Упрощенный расчет вольт-амперной характеристики диода	141
Глава 2. Колебания кристаллической решетки	150
2.1. Динамика кристаллической решетки в гармоническом приближении	150

2.2. Общие свойства силовых констант	155
2.3. Граничные условия Борна – Кармана и динамическая матрица кристалла	157
2.4. Свойства динамической матрицы	159
2.5. Нормальные моды колебаний кристаллической решетки	160
2.6. Теорема Голдстоуна. Акустические и оптические моды нормальных колебаний кристалла	166
2.7. Колебания решетки на примере линейной цепочки атомов	170
2.8. Двухатомная цепочка: одномерная решетка с базисом	175
2.9. Квантовая теория гармонического кристалла	180
2.10. Интерполяционная дебаевская теория теплоемкости кристалла	182
2.11. Роль ангармонических членов в энергии кристалла	185
2.12. Электрон-фононное взаимодействие	187
Глава 3. Сверхпроводимость	192
3.1. Основные физические свойства сверхпроводников	192
3.2. Качественные черты микротeorии	198
3.3. Поправка второго порядка к энергии системы двух электронов, обусловленная электрон-фононным взаимодействием	202
3.4. Куперовские пары	207
3.5. Теория Бардина – Купера – Шриффера (качественные результаты)	212
3.6. Теория Гинзбурга – Ландау. Лондоновская глубина проникновения внешнего магнитного поля в сверхпроводник	217
3.7. Квантование магнитного потока	220
3.8. Микроскопическая природа двух типов сверхпроводников. Вихревые решетки. Сверхпроводящие магниты	221
3.9. О возможных физических механизмах высокотемпературной проводимости	226
3.10. Высокотемпературные сверхпроводники	229
Глава 4. Квантовая когерентная оптика. Взаимодействие излучения с веществом	236
4.1. Уравнения Максвелла. Собственные колебания электромагнитного поля в замкнутой полости	236
4.2. Квантование свободного электромагнитного поля	244
4.3. Энергия нулевых колебаний	250
4.4. Операторы амплитуды и фазы для одномодовых квантовых состояний поля излучения	252
4.5. Когерентные фотонные состояния, их свойства и связь с классическими электромагнитными волнами	255
4.6. Равновесное тепловое излучение и его свойства	261
4.7. Коэффициенты Эйнштейна. Спонтанные и индуцированные энергетические переходы атомной системы в присутствии электромагнитного поля	267
4.8. Взаимодействие квантованного электромагнитного поля с двухуровневым атомом – электрическое дипольное приближение	271
4.9. Скорости спонтанных и индуцированных переходов атомов при распространении через среду электромагнитной волны и в условиях теплового излучения	277

4.10. Поглощение и усиление направленного плоскопараллельного потока излучения веществом	293
4.11. Понятие о временной и пространственной дисперсиях среды	298
4.12. Собственные оптические колебания лазера	306
4.13. Импульсный рубиновый лазер	311
4.14. Гетеролазеры	313
4.15. Формализм матрицы плотности. Полуклассическая теория распространения электромагнитных волн в среде с двухуровневыми атомами	318
4.16. Самоиндуцированная прозрачность. Понятие о сильно нелинейных частицеподобных возбуждениях – солитонах	325
Задачи	340
Список литературы	350