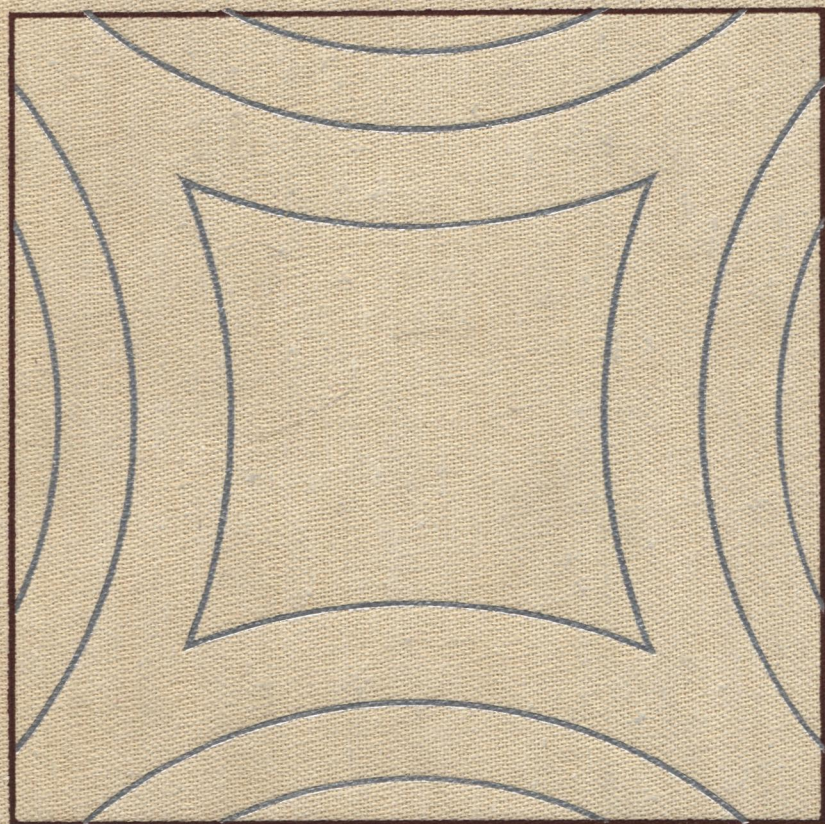


С. В. ВОНСОВСКИЙ, М. И. КАЦНЕЛЬСОН

КВАНТОВАЯ ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА



С.В. ВОНСОВСКИЙ, М.И. КАЦНЕЛЬСОН

КВАНТОВАЯ ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА



МОСКВА "НАУКА"

ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1983

22.37

В-73

УДК 531.9

Вонсовский С.В., Кацнельсон М.И. **Квантовая физика твердого тела.** — М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1983.

В книге наряду с традиционным материалом, посвященным квантовой физике твердого тела, излагаются такие вопросы, как рассеяние нейтронов, эффект Мессбауэра, переходы металл-изолятор, плазменные явления и другие многоэлектронные эффекты, псевдопотенциал. Особое внимание уделяется общим вопросам теории твердого тела (уравнение Шредингера с периодическим потенциалом, приближение самосогласованного поля, границы применимости зонной теории и ряд других).

Изложение предполагает знание лишь основ квантовой и статистической механики и не использует сложного математического аппарата.

Сергей Васильевич Вонсовский

Михаил Иосифович Кацнельсон

КВАНТОВАЯ ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

Редакторы *Т.Г. Корышева, Ю.Г. Рудой*

Тех. редактор *В.В. Лебедева*

Корректоры *Т.В. Обод, Т.А. Печко*

ИБ № 12203

Сдано в набор 13.05.83. Подписано к печати 25.08.83

Т — 17682. Формат 60 × 90/16. Бумага типографская № 1

Печать офсетная. Усл. печ. л. 21,0. Уч. изд. л. 24,18

Тираж 5500 экз. Тип. зак. 768 Цена 3р. 30 к.

Издательство "Наука"

Главная редакция физико-математической литературы

Москва, В-71, Ленинский проспект, 15

Ордена Трудового Красного Знамени

1-я типография издательства "Наука"

199034, Ленинград, В-34, 9-линия, 12

В $\frac{1704060000 - 144}{053(02) - 83}$ 412-83

© Издательство "Наука".
Главная редакция физико-математической
литературы, 1983.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	6
Глава 1. Введение	9
§ 1.1. Общее термодинамическое описание твердого состояния	9
§ 1.2. Кристаллическая структура твердых тел.	13
§ 1.3. Обратная решетка.	30
§ 1.4. Примеры простейших кристаллических структур	33
§ 1.5. Экспериментальные способы определения периодической атомной структуры твердых тел	37
§ 1.6. Качественные представления об электронно-ядерной структуре кристаллов	45
§ 1.7. Классификация твердых тел	50
1.7.1. Ионные кристаллы	51
1.7.2. Валентные кристаллы и полупроводники	52
1.7.3. Металлы, их сплавы и соединения	54
1.7.4. Молекулярные кристаллы.	55
1.7.5. Кристаллы с водородной связью.	56
1.7.6. Одномерные и двумерные системы	56
1.7.7. Квантовые кристаллы	56
§ 1.8. Формулировка общей квантово-механической задачи о кристалле.	56
§ 1.9. Свойства неупорядоченных систем	61
Глава 2. Физические свойства кристаллической решетки.	62
§ 2.1. Статика ионной решетки	62
§ 2.2. Динамика ионной решетки	65
2.2.1. Линейная одноатомная цепочка	65
2.2.2. Линейная двухатомная цепочка	68
2.2.3. Случай трехмерного кристалла.	71
2.2.4. Квантование колебаний ионной решетки.	74
§ 2.3. Удельная теплоемкость решетки.	76
§ 2.4. Учет ангармонических членов.	83
2.4.1. Тепловое расширение кристаллов	84
2.4.2. Линейный по температуре член в теплоемкости	85
2.4.3. Теплопроводность ионной решетки	86
§ 2.5. Локализация фононов на точечных дефектах	87
§ 2.6. Высокочастотная диэлектрическая проницаемость ионных кристаллов	90
§ 2.7. Рассеяние на решетке и эффект Мёссбауэра	92
2.7.1. Вероятность рассеяния и корреляционная функция	92
2.7.2. Некоторые свойства фононных операторов и содержащих их средних	95
2.7.3. Вычисление динамического формфактора в гармоническом приближении	99
2.7.4. Упругое рассеяние.	102

2.7.5. Неупругое рассеяние	104
2.7.6. Эффект Мессбауэра	106
§ 2.8. Заключение	109
Глава 3. Металлы нормальных групп. Модель электронного газа	110
§ 3.1. Типы металлов	110
§ 3.2. Физический критерий металлического состояния. Электроны проводимости	110
§ 3.3. Классическая теория электронов проводимости (теория Друде–Лоренца)	114
§ 3.4. Теория “блуждающих” электронов по Френкелю	120
§ 3.5. Применение квантовой статистики Ферми–Дирака к газу электронов проводимости	122
3.5.1. Случай $T = 0$ К.	124
3.5.2. Случай низких температур ($T > 0$ К, но $T \ll \theta_{эл}$)	126
3.5.3. Атомный объем, сжимаемость и прочность металлов	131
3.5.4. Парамагнетизм вырожденного электронного газа (теория Дорфмана–Паули)	133
3.5.5. Диамагнетизм вырожденного электронного газа по Ландау	138
3.5.6. Осцилляционные эффекты в ферми-газе	145
3.5.7. Термоэлектронная эмиссия (эффект Ричардсона)	147
§ 3.6. Кинетические явления	149
3.6.1. Кинетическое уравнение Больцмана	149
3.6.2. Электропроводность	153
3.6.3. Теплопроводность и закон Видемана–Франца	155
3.6.4. Термоэлектрические явления	157
3.6.5. Гальваномагнитные явления	161
§ 3.7. Высокочастотные свойства	168
3.7.1. Исходные уравнения	168
3.7.2. Скин-эффект	170
3.7.3. Циклотронный резонанс	172
3.7.4. Электромагнитные волны в металлах	174
§ 3.8. Заключительные замечания	178
Глава 4. Зонная теория	179
§ 4.1. Предварительные замечания – одномерная модель	179
4.1.1. Электронные волны в кристалле	179
4.1.2. Цепочка прямоугольных потенциальных барьеров	181
4.1.3. Линейная цепочка атомов	185
4.1.4. Точная теория движения электрона в одномерной цепочке	190
§ 4.2. Общая теория движения электрона в трехмерном кристалле	202
4.2.1. Теорема Блоха	202
4.2.2. Зоны Бриллюэна	206
4.2.3. Энергетический спектр электрона	210
4.2.4. Свойства изозонных поверхностей	214
4.2.5. Приближение почти свободных электронов	216
§ 4.3. Действие электрического поля на электронные состояния	226
4.3.1. Ускорение и эффективная масса электрона	226
4.3.2. Зинеровский пробой	229
§ 4.4. Критерий металл – полупроводник	231
4.4.1. Носители тока в металлах и полупроводниках	231
4.4.2. Пайерлсовский переход	235
4.4.3. Моттовский переход	236
4.4.4. Неупорядоченные системы	237
§ 4.5. Расчет электронного энергетического спектра кристаллов	239
4.5.1. Приближение самосогласованного поля	239
4.5.2. Решение уравнения Шредингера: постановка задачи. Метод ячеек	244
4.5.3. Метод ЛКАО (приближение сильной связи)	246

4.5.4. Метод ОПВ (ортогонализированных плоских волн). Псевдопотенциал	249
4.5.5. Метод присоединенных плоских волн.	251
4.5.6. <i>kr</i> -теория возмущений	253
§ 4.6. Зонные электроны в магнитном поле	255
4.6.1. Эффективный гамильтониан	255
4.6.2. Классические траектории	260
4.6.3. Квазиклассические уровни энергии. Осцилляционные эффекты	264
§ 4.7. Примесные состояния	268
4.7.1. Простая модель	268
4.7.2. Резольвента и плотность состояний	270
4.7.3. Фриделевские осцилляции.	272
§ 4.8. Заключение. Роль многочастичных эффектов	274
Глава 5. Многочастичные эффекты	276
§ 5.1. Плазменные явления. Экранирование.	276
5.1.1. Обсуждение модели.	276
5.1.2. Уравнение для самосогласованного плазменного потенциала	277
5.1.3. Статическое экранирование	281
5.1.4. Плазмон.	284
5.1.5. Фононы в плазменной модели	287
5.1.6. Флуктуационно-диссипационная теорема.	288
§ 5.2. Теория ферми-жидкости.	290
5.2.1. Основные положения теории Ландау	290
5.2.2. Термодинамические свойства.	293
5.2.3. Кинетическое уравнение для квазичастиц	296
§ 5.3. Электрон-фононное взаимодействие	298
5.3.1. Постановка задачи	298
5.3.2. Температурная зависимость электропроводности металлов	301
5.3.3. Полярон.	304
5.3.4. Феномен Купера	309
§ 5.4. Сверхпроводимость.	312
§ 5.5. Экситоны	318
§ 5.6. Переходные металлы и их соединения	320
5.6.1. Свойства <i>d</i> - и <i>f</i> -состояний	320
5.6.2. Модель Гайзенберга.	322
5.6.3. <i>d</i> -металлы.	330
5.6.4. Магнетизм 4 <i>f</i> -металлов	334
§ 5.7. Заключение.	336