

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Тюменский государственный нефтегазовый университет»

Б. В. Федоров, Д. Ф. Нерадовский

ЭЛЕМЕНТЫ ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА

Учебное пособие

Тюмень
ТюмГНГУ
2012

УДК 538.9
ББК 22.37
Ф99

Рецензент:

доктор физико-математических наук, профессор В. А. Табарин
кандидат физико-математических наук, доцент В. Н. Осташков

Федоров, Б. В.

Ф99 Элементы физики твердого тела : учебное пособие / Б. В. Федоров, Д. Ф. Нерадовский. – Тюмень : ТюмГНГУ, 2012. – 236 с.
ISBN 978-5-9961-0557-1

Учебное пособие представляет собой систематизированное и доступное изложение курса физики твердого тела, содержащее основные элементы описания физических свойств твердых тел и процессов, происходящих в них.

Учебное пособие рассчитано на студентов, изучающих физику твердого тела или некоторые ее разделы, а также может быть полезно научным работникам смежных с физикой областей науки, желающих ознакомиться с основными положениями и методами физики твердого тела.

УДК 538.9
ББК 22.37

ISBN 978-5-9961-0557-1

© Федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего
профессионального образования
«Тюменский государственный
нефтегазовый университет», 2012

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	5
1. ТВЕРДОЕ ТЕЛО И ДЕФЕКТЫ ЕГО СТРУКТУРЫ.....	6
Кристаллическое состояние.....	6
Аморфное состояние.....	7
Жидкое состояние.....	8
Геометрия совершенных кристаллов.....	9
Теория связи.....	10
Структура кристаллов и кристаллическая решетка.....	12
Дефекты кристаллической решетки. Классификация дефектов.....	23
Точечные дефекты. Радиационные дефекты и центры окраски.....	24
Линейные дефекты.....	39
Поверхностные и объемные дефекты.....	53
Контрольные вопросы.....	55
2. ХИМИЧЕСКИЕ СВЯЗИ В ТВЕРДЫХ ТЕЛАХ.....	57
Ионная связь.....	57
Ковалентная связь.....	59
Металлическая связь.....	61
Водородная связь.....	62
Флуктуационная связь.....	62
Контрольные вопросы.....	64
3. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ ТЕЛ.....	65
Прочность, пластичность, упругость.....	68
Физическая природа разрушения материалов.....	72
Трещины и их рост.....	77
Контрольные вопросы.....	79
4. ЗОННАЯ ТЕОРИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА.....	80
Расщепление энергетических уровней.....	80
Металлы, диэлектрики и полупроводники с точки зрения зонной теории.....	82
Подвижность электронов. Энергия Ферми и эффективная масса электрона.....	85
Плотность электронных состояний.....	92
Экспериментальное изучение зонной структуры.....	94
Потолок энергетической зоны. Зоны Бриллюэна.....	98
Электроны и дырки.....	100
Контрольные вопросы.....	102
5. КРИСТАЛЛЫ: МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ, ИОННЫЕ, КОВАЛЕНТНЫЕ	103
Металлы. Электропроводность и оптические свойства.....	104
Зонная структура металлов и энергия связи.....	109
Теплоемкость металлов.....	114
Функция Ферми.....	123
Время релаксации.....	124
Закон Джоуля–Ленца.....	127
Правило Маттисена.....	127
Эффект Холла.....	130
Теплопроводность валентных электронов.....	132

Сверхпроводимость.....	135
Контрольные вопросы	139
6. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ В ВЕЩЕСТВЕ.	140
Дипольные моменты молекул диэлектрика.....	140
Поляризация диэлектриков.....	143
Теорема Остроградского – Гаусса для поля в веществе.....	146
Сегнето- и пьезоэлектрики.....	147
Электропроводность диэлектриков.....	153
Собственная проводимость полупроводников.....	154
Примесная проводимость полупроводников.....	157
Фотопроводимость полупроводников.....	161
Люминесценция твердых тел.....	162
Контакт двух металлов по зонной теории.....	165
Контакт металл – полупроводник по зонной теории.....	167
Контакт электронного и дырочного полупроводников.....	170
Полупроводниковые диоды и триоды.....	172
Контрольные вопросы	174
7. МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ВЕЩЕСТВА.....	176
Атом в магнитном поле.....	178
Диамагнетизм.....	181
Парамагнетизм.....	182
Температурная зависимость магнитной восприимчивости.....	184
Природа постоянных магнитных моментов.....	186
Диамагнетизм и парамагнетизм твердых тел.....	188
Ферромагнетизм. Природа ферромагнетизма.....	193
Свойства чистых ферромагнитных материалов.....	202
Зависимость намагниченности от температуры.....	207
Сплавы. Ферриты. Антиферриты.....	209
Доменная структура ферромагнетиков.....	213
Петля гистерезиса.....	215
Обменная энергия.....	218
Энергия магнитной анизотропии.....	219
Доменная стенка.....	220
Магнитострикция.....	221
Магнитостатическая энергия.....	223
Магнитно-мягкие и магнитно-жесткие материалы.....	226
Контрольные вопросы.....	232
Список литературы.....	233

ВВЕДЕНИЕ

Учебное пособие «Физика твердого тела для инженеров» базируется на лекционном курсе, который читается на кафедре ФМД для студентов технологического института специальности «Приборы и методы контроля качества и диагностики» Тюменского государственного нефтегазового университета.

Студенты, заканчивающие университет по инженерной специальности «Приборы и методы контроля качества и диагностики» должны разбираться в вопросах, связанных с теорией твердого тела и ее приложениями на практике. К настоящему времени издано достаточно много учебных пособий по этой обширной тематике, ориентированных в основном на студентов-физиков. Среди них необходимо отметить такие книги, как «Физика твердого тела» Н. Ашкрофта и Н. Мермина, «Введение в физику твердого тела» Ч. Киттеля, «Теория твердого тела» О. Маделунга. В этих и других учебниках с различной степенью сложности изложения материала приведены теоретические основы, дающие понимание большинства вопросов, связанных со строением твердого тела и процессами, происходящими в нем. Однако математический аппарат, используемый авторами, рассчитан на студентов-физиков, достаточно ознакомленных с большинством разделов теоретической физики: квантовой механики, статистической физики, теории поля.

Среди учебных пособий, ориентированных на инженеров, необходимо отметить книгу Ч. Уэрта и Р. Томсона «Физика твердого тела», русскоязычная версия которой была опубликована издательством «Мир» в 1969 году. До настоящего времени появились многие инженерные приложения физики твердого тела, особенно в области электроники, которые необходимо знать современным инженерам. Кроме того, различие в учебных планах зарубежных и российских вузов не позволяет в полной мере воспользоваться переводными учебными пособиями.

В вузовские образовательные стандарты по инженерным специальностям не включены в качестве обязательных курсы теоретической физики, курсы кристаллографии, физики полупроводников и физики диэлектриков, на которых базируются либо в которых далее развиваются основные положения физики твердого тела. По этой причине учебное пособие структурировано таким образом, чтобы вычленив по главам тепловые, магнитные, диэлектрические, электрические и оптические свойства твердых тел. В каждой главе приведены теоретическое описание процессов и примеры инженерной реализации эффекта либо явления в приборах и устройствах. Уровень математического аппарата, используемый при изложении материала, находится в рамках вузовского курса по высшей математике для инженерных специальностей.