



М. А. Зеликман

ФИЗИКА для ИНЖЕНЕРОВ

ОПТИКА.
АТОМНАЯ ФИЗИКА.
ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА.
ФИЗИКА АТОМНОГО ЯДРА
И ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

М. А. Зеликман

Физика для инженеров

**ОПТИКА.
АТОМНАЯ ФИЗИКА.
ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА.
ФИЗИКА АТОМНОГО ЯДРА
И ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ**

Учебное пособие

**Москва Вологда
«Инфра-Инженерия»
2025**

УДК 531:536:532.5.013

ББК 22.3

3-49

Рецензенты:

доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого *В. К. Иванов*;

доктор педагогических наук и кандидат физико-математических наук, профессор кафедры физической электроники Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена *И. И. Хинич*

Зеликман, М. А.

3-49 Физика для инженеров. Оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц : учебное пособие / М. А. Зеликман. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2025. – 180 с. : ил., табл.

ISBN 978-5-9729-2527-8

Изложены основные теоретические понятия и формулы курса общей физики для технических вузов по темам «Оптика», «Атомная физика», «Физика твёрдого тела», «Физика атомного ядра и элементарных частиц». Большое внимание уделено физическому смыслу изучаемых явлений. Особое внимание автор обращает на некоторые тонкие моменты, выделяя их в примечаниях. Также в пособии размещены некоторые систематические напоминания сведений из средней школы, чтобы у читателя не возникала необходимость обращаться к школьным учебникам.

Для студентов младших курсов технических и физических направлений, а также для людей, интересующихся физикой и желающих устранить пробелы в своих знаниях.

УДК 531:536:532.5.013

ББК 22.3

ISBN 978-5-9729-2527-8

© Зеликман М. А., 2025

© СПбПУ, 2025

© Издательство «Инфра-Инженерия», 2025

© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОПТИКА	3
ГЛАВА 1. ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИКА	3
§1.1. Световые волны	3
§1.2. Основные законы оптики	3
§1.3. Световой поток	5
§1.4. Нормальное падение на границу двух сред	6
§1.5. Фотометрические величины	8
§1.6. Геометрическая оптика	9
§1.7. Преломление на сферической поверхности	10
§1.8. Тонкая линза	12
§1.9. Сферическое зеркало	14
§1.10. Центрированная оптическая система	16
§1.11. Зрение и очки	16
§1.12. Лупа	18
ГЛАВА 2. ВОЛНОВАЯ ОПТИКА	19
§2.1. Интерференция света	19
§2.2. Временная и пространственная когерентность	22
§2.3. Способы наблюдения интерференции	24
§2.4. Интерференция при отражении от тонких пленок	25
§2.5. Дифракция света	26
§2.6. Принцип Гюйгенса – Френеля	27
§2.7. Зоны Френеля	29
§2.8. Дифракция от круглого отверстия и диска	33
§2.9. Дифракция от прямолинейного края полуплоскости	35
§2.10. Дифракция Фраунгофера от щели	38
§2.11. Спектральный анализ и дифракционная решетка	41
§2.12. Поляризация света	46
§2.13. Поляризация при отражении и преломлении	51
§2.14. Двойное лучепреломление	52
§2.15. Интерференция поляризованных лучей	55
§2.16. Искусственное двойное лучепреломление	56
§2.17. Вращение плоскости поляризации	58
§2.18. Магнитное вращение плоскости поляризации	59
§2.19. Дисперсия света	59

§2.20. Групповая скорость.....	60
§2.21. Поглощение и рассеяние света	60
ГЛАВА 3. ТЕПЛОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ	62
§3.1. Тепловое излучение и люминесценция	62
§3.2. Закон Кирхгофа	62
§3.3. Равновесное излучение.....	65
§3.4. Закон Стефана – Больцмана и закон смещения Вина	66
§3.5. Стоячие волны	67
§3.6. Формула Рэлея – Джинса	68
§3.7. Формула Планка.....	68
ГЛАВА 4. ФОТОНЫ.....	71
§4.1. Тормозное рентгеновское излучение	71
§4.2. Фотоэффект.....	72
§4.3. Опыт Боте. Фотоны.....	73
§4.4. Эффект Комптона.....	75
АТОМНАЯ ФИЗИКА	78
ГЛАВА 5. БОРОВСКАЯ ТЕОРИЯ АТОМА	78
§5.1. Атомные спектры	78
§5.2. Модель атома Томсона	79
§5.3. Опыты по рассеянию α -частиц. Ядерная модель атома.....	79
§5.4. Постулаты Бора. Опыт Франка и Герца.....	80
§5.5. Правила квантования круговых орбит.....	82
§5.6. Элементарная боровская теория атома водорода	82
ГЛАВА 6. ЭЛЕМЕНТЫ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ.....	85
§6.1. Гипотеза де Бройля. Волновые свойства вещества	85
§6.2. Необычные свойства микрочастиц	86
§6.3. Принцип неопределенности.....	87
§6.4. Уравнение Шрёдингера	89
§6.5. Операторы и их применение в квантовой механике	91
§6.6. Смысл пси-функции.....	93
§6.7. Квантование энергии	94
§6.8. Квантование момента импульса	96
§6.9. Принцип суперпозиции состояний. Квантовая телепортация.....	97
§6.10. Прохождение частиц через потенциальный барьер	100
§6.11. Гармонический осциллятор	103

ГЛАВА 7. ФИЗИКА АТОМОВ И МОЛЕКУЛ	104
§7.1. Атом водорода.....	104
§7.2. Спектры щелочных металлов.....	107
§7.3. Ширина спектральных линий.....	108
§7.4. Мультиплетность спектров и спин электронов.....	110
§7.5. Механический и магнитный моменты многоэлектронного атома.....	112
§7.6. Эффект Зеемана.....	113
§7.7. Электронный парамагнитный резонанс.....	114
§7.8. Квантовые статистики. Бозоны и фермионы.....	114
§7.9. Принцип Паули.....	116
§7.10. Периодическая система элементов Менделеева.....	117
§7.11. Рентгеновские спектры.....	118
§7.12. Вынужденное излучение.....	119
§7.13. Лазеры.....	121
§7.14. Голография.....	122
§7.15. Нелинейная оптика.....	123
ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА	125
ГЛАВА 8. ТЕПЛОЕМКОСТЬ ТВЕРДОГО ТЕЛА	125
§8.1. Теория Эйнштейна.....	125
§8.2. Колебания систем с большим числом степеней свободы.....	126
§8.3. Теория Дебая.....	129
§8.4. Фононы.....	131
§8.5. Конденсация Бозе – Эйнштейна.....	132
ГЛАВА 9. ЗОННАЯ ТЕОРИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ	134
§9.1. Распределение Ферми – Дирака.....	134
§9.2. Квантовая теория свободных электронов в металле.....	135
§9.3. Динамика электронов в периодической решетке.....	138
§9.4. Энергетические зоны в кристаллах.....	139
ГЛАВА 10. ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ТВЕРДЫХ ТЕЛ	143
§10.1. Электропроводность металлов. Теории Друде и Зоммерфельда.....	143
§10.2. Электропроводность полупроводников.....	147
ГЛАВА 11. СВЕРХПРОВОДНИКИ	150
§11.1. Отсутствие электрического сопротивления.....	150
§11.2. Теория сверхпроводимости Бардина – Купера – Шриффера (БКШ).....	153

§11.3. Выталкивание магнитного поля из сверхпроводников.....	154
§11.4. Три вида сверхпроводников.....	156
§11.5. Критические токи в сверхпроводниках	158
§11.6. Применение сверхпроводников.....	159
ГЛАВА 12. ФИЗИКА АТОМНОГО ЯДРА И ЭЛЕМЕНТАРНЫХ	
ЧАСТИЦ.....	161
§12.1. Методы регистрации частиц	161
§12.2. Открытие протона и нейтрона	162
§12.3. Состав ядра атома. Энергия связи	163
§12.4. Ядерные реакции.....	165
§12.5. Деление ядер урана	165
§12.6. Цепная реакция.....	166
§12.7. Радиоактивность.....	168
§12.8. Синтез атомных ядер	169
§12.9. Элементарные частицы.....	170
§12.10. Космические лучи	173