

22.3

Р60

УНИВЕРСИТЕТЫ РОССИИ

В. Н. Родионов

ФИЗИКА

2-е издание



СООТВЕТСТВУЕТ
ПРОГРАММАМ
ВЕДУЩИХ НАУЧНО-
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ
ШКОЛ

Юрайт
ИЗДАТЕЛЬСТВО

biblio-online.ru

В. Н. Родионов

ФИЗИКА

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ
ДЛЯ АКАДЕМИЧЕСКОГО БАКАЛАВРИАТА

2-е издание, исправленное и дополненное



Книга доступна в электронной библиотечной системе
biblio-online.ru

Москва • Юрайт • 2016

Автор:

Родионов Василий Николаевич — профессор, доктор физико-математических наук, профессор кафедры информатики естественнонаучно-технологического кластера Российского экономического университета имени Г. В. Плеханова.

Рецензенты:

Треушников Е. Н. — доктор физико-математических наук, профессор Московского технологического университета (МИРЭА);

Садыхов Т. М. — доктор физико-математических наук, профессор кафедры информатики Российского экономического университета имени Г. В. Плеханова.

Родионов, В. Н.

Р60 Физика : учеб. пособие для академического бакалавриата / В. Н. Родионов. — 2-е изд., испр. и доп. — М. : Издательство Юрайт, 2016. — 295 с. — Серия : Университеты России.

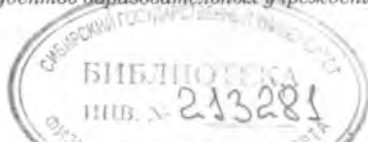
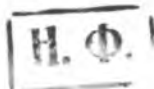
ISBN 978-5-9916-8814-7

Серия «Университеты России» позволит высшим учебным заведениям нашей страны использовать в образовательном процессе учебники и учебные пособия по различным дисциплинам, подготовленные преподавателями лучших университетов России и впервые опубликованные в издательствах университетов. Все представленные в этой серии учебники прошли экспертную оценку учебно-методического отдела издательства и публикуются в оригинальной редакции.

Издание представляет собой сборник учебно-методических материалов по курсу общей физики. Большое внимание уделяется корректному определению физических понятий и их взаимосвязям, возникающим при изучении различных физических явлений. Предпочтение отдается наиболее простым физическим моделям, допускающим количественное описание при минимальном знакомстве с математическим аппаратом. Приведены задачи различной степени сложности, большая часть которых содержит решения. Остальные задачи представлены для самостоятельной работы и предназначены для контроля эффективности изучения текущего материала.

Для студентов образовательных учреждений высшего образования.

УДК 53(075.8)
ББК 22.3я73



Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав. Правовую поддержку издательства обеспечивает юридическая компания «Дельфи».

© Родионов В. Н., 2011
© Родионов В. Н., 2016, с изменениями
© ООО «Издательство Юрайт», 2016

ISBN 978-5-9916-8814-7

Оглавление

Предисловие	14
Глава 1. Основные физические и математические понятия	17
1.1. Физические явления.....	17
1.1.1. Физические величины.....	17
1.1.2. Измерение физических величин.....	18
1.1.3. Погрешность измерения.....	18
1.1.4. Размерность физических величин.....	19
1.2. Математические термины, символы, обозначения и методы.....	20
1.2.1. Числовая ось.....	20
1.2.2. Вектора.....	20
1.2.3. Линейные операции над векторами.....	22
1.2.4. Скалярное произведение.....	22
1.2.5. Векторное произведение.....	23
1.2.6. Функция.....	23
1.2.7. Предел функции.....	24
1.2.8. Производная функции.....	24
1.2.9. Первообразная функции. Определенный интеграл.....	25
1.2.10. Методы дифференцирования и интегрирования в физике.....	25
1.2.11. Комплексные числа.....	30
1.3. Некоторые сведения о дифференциальных уравнениях.....	32
1.3.1. Общие определения.....	32
1.3.2. Линейные дифференциальные уравнения.....	33
1.3.3. Решение линейных дифференциальных уравнений второго порядка с постоянными коэффициентами.....	34
1.4. Элементарные представления о дифференциальных операторах и уравнениях математической физики.....	35
1.4.1. Оператор пространственного дифференцирования «набла» ∇	35
1.4.2. Градиент скалярного поля. Потенциальные (консервативные) поля.....	36
1.4.3. Дивергенция векторного поля. Связь с источниками поля.....	37
1.4.4. Ротор векторного поля. Вихревые (соленоидальные) поля.....	37
1.4.5. Двукратное пространственное дифференцирование. Оператор Лапласа.....	37

1.4.6. Уравнения Пуассона и Лапласа.....	38
1.4.7. Волновое уравнение и уравнение Гельмгольца.....	38
Глава 2. Физические основы механики	40
2.1. Различные модели тел в механике.....	40
2.1.1. Материальная точка.....	40
2.1.2. Абсолютно твердое тело.....	40
2.2. Кинематика.....	40
2.2.1. Положение материальной точки в пространстве.....	41
2.2.2. Траектория движения.....	41
2.2.3. Путь точки.....	42
2.2.4. Перемещение точки.....	42
2.2.5. Скорость движения материальной точки.....	42
2.2.6. Ускорение материальной точки.....	43
2.2.7. Проекции мгновенного ускорения на оси координат.....	43
2.2.8. Различные типы движения.....	43
2.2.9. Равноускоренное двумерное движение (движение тела под углом к горизонту).....	45
2.2.10. Кинематическое уравнение движения материальной точки по окружности.....	46
2.2.11. Модуль полного ускорения.....	47
2.3. Динамика.....	48
2.3.1. Импульс точки.....	48
2.3.2. Первый закон Ньютона.....	48
2.3.3. Второй закон Ньютона.....	49
2.3.4. Третий закон Ньютона.....	50
2.3.5. Силы, рассматриваемые в механике.....	50
2.3.6. Закон сохранения импульса системы из n тел.....	51
2.3.7. Механическая энергия.....	51
2.3.8. Закон сохранения механической энергии.....	52
2.3.9. Работа A , совершаемая результирующей силой.....	52
2.3.10. Динамика вращательного движения.....	53
2.3.11. Моменты инерции некоторых однородных тел.....	54
2.3.12. Теорема Штейнера (теорема о перенесении оси вращения).....	55
2.3.13. Проекция на ось z момента импульса тела, вращающегося относительно неподвижной оси z	56
2.3.14. Закон сохранения момента импульса системы тел, вращающихся вокруг неподвижной оси z	56
2.3.15. Кинетическая энергия тела, вращающегося вокруг неподвижной оси z	56
2.3.16. Примеры решения задач.....	56
2.3.17. Задачи для самостоятельного решения.....	60

Глава 3. Механика сплошной среды. Молекулярная физика. Термодинамика.	63
3.1. Основные формулы и понятия.....	63
3.1.1. Количество вещества.....	63
3.1.2. Молярная масса вещества.....	63
3.1.3. Относительная молекулярная масса вещества	63
3.1.4. Связь молярной массы M с относительной молекулярной массой вещества.....	64
3.1.5. Количество вещества смеси газов.....	64
3.2. Жидкости и газы.....	64
3.2.1. Давление. Сообщающиеся сосуды.....	64
3.2.2. Закон Паскаля для жидкостей и газов.....	65
3.2.3. Закон сообщающихся сосудов.....	66
3.2.4. Гидравлический пресс.....	66
3.2.5. Опыт Торричелли.....	67
3.2.6. Изменение атмосферного давления с высотой.....	68
3.2.7. Архимедова сила для жидкостей и газов.....	69
3.2.8. Уравнение неразрывности. Уравнение Бернулли.....	70
3.3. Уравнение Менделеева–Клапейрона.....	71
3.3.1. Закон Бойля-Мариотта.....	71
3.3.2. Закон Гей–Люссака.....	72
3.3.3. Закон Шарля.....	72
3.3.4. Объединенный газовый закон.....	72
3.3.5. Закон Дальтона, определяющий давление смеси газов	72
3.3.6. Молярная масса смеси газов.....	72
3.3.7. Концентрация молекул.....	73
3.4. Основное уравнение кинетической теории газов	73
3.4.1. Внутренняя энергия газа, состоящего из N частиц	73
3.4.2. Распределение молекул по скоростям.....	74
3.5. Удельные теплоемкости газа.....	75
3.5.1. Удельные теплоемкости при постоянном объеме (c_v) и постоянном давлении (c_p) для газа, имеющего молекулы с « i » степенями свободы.....	75
3.5.2. Связь между удельной s и молярной C теплоемкостями	75
3.5.3. Внутренняя энергия идеального газа	75
3.6. Первое начало термодинамики	76
3.6.1. Полная работа расширения газа.....	76
3.6.2. Уравнение Пуассона.....	77
3.6.3. Термический КПД цикла.....	77
3.6.4. Термический КПД цикла Карно.....	77
3.7. Второе начало термодинамики. Закон возрастания энтропии.....	78

3.7.1. Примеры решения задач.....	78
3.7.2. Задачи для самостоятельного решения	80
Глава 4. Электростатика. Постоянный электрический ток.	83
4.1. Основные формулы и понятия.....	83
4.1.1. Закон Кулона	83
4.1.2. Напряженность электрического поля и потенциал.....	83
4.1.3. Силовые линии напряженности поля.	84
4.1.4. Поток вектора.....	85
4.1.5. Теорема Остроградского—Гаусса.....	86
4.1.6. Расчет работы по переносу заряда в поле.	86
4.1.7. Сила, действующая на точечный заряд.....	87
4.1.8. Напряженность и потенциал поля, создаваемого точечным зарядом.....	87
4.1.9. Напряженность и потенциал поля, создаваемого системой точечных зарядов.....	87
4.1.10. Напряженность и потенциал поля, создаваемого проводящей заряженной сферой.....	87
4.1.11. Напряженность и потенциал поля, создаваемого распределенными зарядами линии	88
4.1.12. Принцип суперпозиции (Принцип наложения сил).....	88
4.1.13. Напряженность поля, создаваемого бесконечной равномерно заряженной линией или бесконечно длинным цилиндром.....	88
4.1.14. Напряженность поля, создаваемого бесконечной равномерно заряженной плоскостью.....	89
4.1.15. Связь потенциала с напряженностью.	89
4.1.16. Эквипотенциальные линии.	90
4.1.17. Электрический момент диполя.	90
4.1.18. Работа сил поля по перемещению заряда Q из точки поля с потенциалом φ_1 в точку с потенциалом φ_2	90
4.2. Электроемкость.....	90
4.2.1. Электроемкость плоского конденсатора	91
4.2.2. Электроемкость батареи конденсаторов	91
4.2.3. Энергия заряженного конденсатора	91
4.3. Электрический ток.....	91
4.3.1. Сила постоянному тока	91
4.3.2. Плотность тока.	92
4.3.3. Связь плотности тока со средней скоростью $\langle v \rangle$ направленно движении заряженных частиц.....	92
4.3.4. Закон Ома.....	92
4.3.5. Законы Кирхгофа	93

4.3.6. Сопротивление R и проводимость проводника G	93
4.3.7. Сопротивление системы последовательно соединенных проводников.	94
4.3.8. Сопротивление при параллельном соединении проводников.	94
4.3.9. Работа тока	95
4.3.10. Мощность тока	95
4.3.11. Закон Ома в дифференциальной форме	95
4.3.12. Закон Джоуля—Ленца.	95
4.3.13. Примеры решения задач.	96
4.3.14. Задачи для самостоятельного решения	99
Глава 5. Электromагнетизм.....	102
5.1. Основные формулы и понятия.....	102
5.1.1. Связь магнитной индукции B с напряженностью H магнитного поля.....	102
5.1.2. Закон Био—Савара—Лапласа.....	102
5.1.3. Магнитная индукция в центре кругового тока	103
5.1.4. Магнитная индукция на оси кругового тока.....	103
5.1.5. Магнитная индукция поля прямого тока.....	103
5.1.6. Магнитная индукция поля, создаваемого отрезком провода с током	103
5.1.7. Магнитная индукция поля внутри соленоида.....	104
5.2. Закон Ампера.....	104
5.2.1. Сила, действующая на провод с током в магнитном поле ...	104
5.2.2. Магнитный момент плоского контура с током	105
5.2.3. Вращательный момент, действующий на контур с током, помещенный в однородное магнитное поле.....	105
5.2.4. Потенциальная энергия контура с током в магнитном поле	105
5.2.5. Отношение магнитного момента p_m к механическому моменту импульса L частицы с зарядом Q , движущейся по круговой орбите.....	105
5.2.6. Сила Лоренца.	106
5.2.7. Магнитный поток Φ	106
5.2.8. Потокосцепление (полный поток)	107
5.2.9. Работа по перемещению замкнутого контура в магнитном поле	107
5.2.10. Электromагнитная индукция	107
5.2.11. ЭДС индукции.....	107
5.2.12. Разность потенциалов на концах провода, движущегося со скоростью v в магнитном поле	107

5.2.13. Заряд, протекающий по замкнутому контуру при изменении магнитного потока, пронизывающего этот контур	107
5.2.14. Индуктивность контура	107
5.2.15. ЗДС самоиндукции	107
5.2.16. Индуктивность соленоида	108
5.2.17. Мгновенное значение силы тока в цепи, обладающей сопротивлением R и индуктивностью L	108
5.2.18. Энергия магнитного поля	108
5.2.19. Примеры решения задач	108
5.2.20. Задачи для самостоятельного решения	110
Глава 6. Колебания и волны	113
6.1. Механические колебания	113
6.1.1. Причины распространенности колебаний в природе	113
6.1.2. Уравнение гармонических колебаний и его решение	113
6.1.3. Простейшие колебательные системы	115
6.1.4. Превращения энергии при гармонических колебаниях. ...	117
6.1.5. Сложение параллельных колебаний	119
6.1.6. Метод векторных диаграмм	119
6.1.7. Сложение ортогональных колебаний	122
6.1.8. Затухающие колебания	123
6.1.9. Вынужденные колебания. Резонанс.	125
6.1.10. Примеры решения задач	127
6.1.11. Задачи для самостоятельного решения	134
6.2. Электромагнитные колебания	136
6.2.1. Свободные электромагнитные колебания. Колебательный контур.	136
6.2.2. Аналогия между механическими и электромагнитными колебаниями. Превращения энергии в колебательном контуре.	138
6.2.3. Контур с активным сопротивлением. Затухающие электромагнитные колебания.	138
6.2.4. Вынужденные электромагнитные колебания — переменный электрический ток. Генератор переменного тока. Трансформатор.	140
6.2.5. Активное, емкостное и индуктивное сопротивление в цепи переменного тока. Понятие импеданса.	142
6.2.6. Понятие комплексного сопротивления (комплексного представления импеданса). Импедансы активного сопротивления, индуктивности и емкости. Векторные диаграммы для элементов электрических цепей.	143
6.2.7. Расчет простейших цепей переменного тока.	145

6.2.8. Резонанс в электрической цепи. Мощность переменного тока. Действующие значения тока и напряжения. . .	148
6.2.9. Примеры решения задач.....	149
6.2.10. Задачи для самостоятельного решения.....	159
6.3. Механические (упругие) волны.....	162
6.3.1. Понятие упругой среды.....	162
6.3.2. Определение упругой волны.....	162
6.3.3. Волновая поверхность и волновой фронт. Луч. Фазовая скорость волны.....	162
6.3.4. Поляризация волны.....	163
6.3.5. Скорость распространения упругих волн в различных средах.....	163
6.3.6. Длина волны.....	164
6.3.7. Уравнение бегущей волны. Волновое уравнение.....	164
6.3.8. Интенсивность упругой волны. Вектор Умова.....	166
6.3.9. Закон сохранения энергии для волны. Уравнение цилиндрической и сферической волны.....	167
6.3.10. Эффект Доплера.....	169
6.3.11. Звук и его свойства. Принцип эхо-локации.....	169
6.3.12. Стоячие волны. Резонаторы.....	170
6.4. Уравнения Максвелла. Электромагнитные волны.....	172
6.4.1. Потенциальные и вихревые векторные поля.....	172
6.4.2. Первое уравнение Максвелла.....	173
6.4.3. Второе уравнение Максвелла.....	174
6.4.4. Третье уравнение Максвелла.....	175
6.4.5. Четвертое уравнение Максвелла.....	175
6.4.6. Замыкание системы уравнений Максвелла.....	176
6.4.7. Волновое уравнение в теории Максвелла.....	177
6.4.8. Электромагнитные волны и их свойства.....	178
6.4.9. Излучение электромагнитных волн.....	179
6.5. Геометрическая оптика.....	180
6.5.1. Предмет геометрической оптики. Принцип Ферма.....	181
6.5.2. Закон отражения света.....	181
6.5.3. Закон преломления света.....	182
6.5.4. Полное внутреннее отражение.....	183
6.5.5. Зеркала. Качественные характеристики изображений. Плоское зеркало.....	184
6.5.6. Сферические зеркала.....	185
6.5.7. Линзы.....	187
6.6. Волновая оптика.....	189
6.6.1. Двуд лучевая интерференция света. Опыт Юнга.....	190

6.6.2. Интерференция в тонких пленках.....	191
6.6.3. Кольца Ньютона.....	192
6.6.4. Дифракция света. Принцип Гюйгенса—Френеля.....	193
6.6.5. Метод зон Френеля. Дифракция Френеля на круглом отверстии и на диске.....	195
6.6.6. Дифракция Фраунгофера. Дифракционная решетка.....	198
6.6.7. Дифракция в кристаллах. Лауэграммы.....	199
6.6.8. Поляризация света. Поляризаторы. Закон Малюса.....	199
6.6.9. Дисперсия света.....	200
6.6.10. Поглощение света. Закон Бугера. Связь поглощения с дисперсией.....	202
6.6.11. Излучение Вавилова—Черенкова.....	203
6.7. Квантовая оптика.....	204
6.7.1. Тепловое излучение и его характеристики. Равновесие теплового излучения с веществом.....	204
6.7.2. Закон Кирхгофа.....	204
6.7.3. Экспериментальные исследования теплового излучения. Законы Стефана — Больцмана и Вина.....	205
6.7.4. Классический расчет функции Кирхгофа. Формула Релея—Джинса и ультрафиолетовая катастрофа.....	206
6.7.5. Квантовый расчет функции Кирхгофа. Формула Планка.....	207
6.7.6. Квантовый расчет энергетической светимости. Теоретическое обоснование законов Стефана — Больцмана и Вина.....	207
6.7.7. Пирометрия.....	209
6.7.8. Кванты электромагнитного поля — фотоны.....	209
6.7.9. Фотоэффект. Законы Столетова. Формула Эйнштейна.....	209
6.7.10. Эффект Комптона.....	211
6.7.11. Примеры решения задач.....	212
6.7.12. Задачи для самостоятельного решения.....	217

Глава 7. Элементы атомной и ядерной физики. Основы квантовой механики и физики твердого тела. 220

7.1. Боровская теория водородоподобного атома.....	220
7.1.1. Постулаты Бора.....	220
7.1.2. Боровские радиусы атома водорода.....	221
7.1.3. Боровские уровни энергии в атоме водорода.....	221
7.1.4. Энергия, излучаемая или поглощаемая атомом водорода.....	222
7.1.5. Реальный атом водорода. Квантовые числа.....	223
7.1.6. Принцип Паули. Многоэлектронный атом и таблица Менделеева.....	224
7.2. Волновые свойства частиц.....	226
7.2.1. Длина волны де Бройля.....	226

7.2.2. Импульс частицы и его связь с кинетической энергией....	226
7.2.3. Соотношение неопределенностей.....	227
7.3. Волновая функция и уравнение Шредингера для стационарных состояний.....	228
7.3.1. Плотность вероятности и физический смысл волновой функции	228
7.3.2. Вероятность обнаружения частицы в интервале от x_1 до x_2	228
7.3.3. Уравнение Шредингера для стационарных состояний.....	229
7.3.4. Чистые и смешанные состояния частицы.....	229
7.3.5. Определение физических величин в смешанном состоянии.....	230
7.3.6. Понятие основного состояния.....	230
7.3.7. Финитное и инфинитное движение частицы.....	231
7.3.8. Отражение частицы от потенциальной стенки.....	231
7.3.9. Прохождение частицы через потенциальный барьер. Туннельный эффект.....	233
7.3.10. Частица в бесконечно глубокой прямоугольной потенциальной яме.....	234
7.3.11. Смешанные состояния частицы в прямоугольной потенциальной яме.....	236
7.3.12. Примеры решения задач	237
7.3.13. Задачи для самостоятельного решения	241
7.4. Атомное ядро. Радиоактивность.....	243
7.4.1. Электрический и барионный заряд ядра.....	243
7.4.2. Свойства ядерных сил.....	244
7.4.3. Дефект массы ядра.....	244
7.4.4. Энергия связи ядра и его устойчивость.....	244
7.4.5. Типы ядерных реакций.....	245
7.4.6. Закон радиоактивного распада.....	246
7.4.7. Период полураспада.....	246
7.4.8. Зависимость периода полураспада от постоянной радиоактивного распада.....	246
7.4.9. Число N атомов, содержащихся в радиоактивном изотопе.....	246
7.4.10. Активность A радиоактивного изотопа (скорость радиоактивного распада).....	246
7.4.11. Стабильность и нестабильность элементарных частиц.....	247
7.4.12. γ -излучение ядер.....	248
7.4.13. Примеры решения задач	248
7.4.14. Задачи для самостоятельного решения.....	253

7.5. Физические свойства кристаллов	255
7.5.1. Аморфные и кристаллические тела. Механические свойства твердых тел. Упругие деформации	255
7.5.2. Внутренняя геометрия кристаллов	257
7.6. Элементы квантовой статистики	259
7.6.1. Тожественность частиц и обменное взаимодействие	259
7.6.2. Волновая функция системы слабо взаимодействующих одинаковых частиц	260
7.6.3. Связь спина со статистикой. Бозоны и фермионы. Происхождение принципа Паули	260
7.6.4. Поведение систем бозонов и фермионов при $T \rightarrow 0$. Бозе-конденсация и ферми-вырождение	261
7.6.5. Температура вырождения Ферми	261
7.6.6. Распределение Бозе-Эйнштейна	262
7.6.7. Распределение Ферми-Дирака. Химический потенциал	262
7.6.8. Сравнение функций распределения при высокой температуре	264
7.7. Тепловые свойства твердых тел	264
7.7.1. Квантовый гармонический осциллятор. Внутренняя энергия кристалла	265
7.7.2. Фонон — переносчик тепла в твердом теле. Понятие квазиимпульса	265
7.7.3. Теория теплоемкости Эйнштейна	267
7.7.4. Теория теплоемкости Дебая	267
7.7.5. Теплота, необходимая для нагревания тела	269
7.7.6. Теплопроводность твердых диэлектриков	269
7.8. Тепловые и электрические свойства металлов	270
7.8.1. Распределение электронов в металле по энергиям при комнатных температурах	270
7.8.2. Теплоемкость электронного газа в металлах	271
7.8.3. Теплопроводность металлов	271
7.8.4. Электрический ток в металлах	272
7.8.5. Электропроводность металлов	273
7.8.6. Закон Видемана—Франца	274
7.8.7. Контактные и термоэлектрические явления	274
7.9. Полупроводники	274
7.9.1. Элементы зонной теории	274
7.9.2. Удельная проводимость полупроводников	275
7.9.3. Полупроводниковые диоды	276
7.9.4. Сила тока в p - n — переходе	277
7.9.5. Внутренний фотоэффект	277

7.10. Магнетизм вещества	278
7.10.1. Слабый магнетизм.....	278
7.10.2. Диамагнетики.....	279
7.10.3. Парамагнетики.....	279
7.10.4. Намагниченность.....	280
7.10.5. Ферромагнетики.....	280
7.10.6. Основные магнитные свойства ферромагнетиков.....	281
7.10.7. Примеры решения задач	282
7.10.8. Задачи для самостоятельного решения	288
Глава 8. Приложения	291
8.1. Основные физические постоянные.....	291
8.2. Множители и приставки для обозначения десятичных кратных и дольных единиц.....	292
8.3. Единицы СИ, имеющие специальное название.....	292
8.4. Некоторые математические формулы	293
8.4.1. Логарифмы.....	293
8.4.2. Тригонометрия	294
8.4.3. Производные	294