

# СОДЕРЖАНИЕ

Авторы . . . . .	24
Предисловие . . . . .	26
Предисловие к пятому изданию . . . . .	28

## Часть I Механика

<b>Глава 1. Кинематика . . . . .</b>	<b>29</b>
1.1. Описание движения . . . . .	29
1.1.1. Системы отсчета . . . . .	29
1.1.2. Время . . . . .	34
1.1.3. Длина, площадь, объем . . . . .	36
1.1.4. Угол . . . . .	38
1.1.5. Механические системы . . . . .	40
1.2. Одномерное движение . . . . .	42
1.2.1. Скорость . . . . .	42
1.2.1.1. Средняя скорость . . . . .	42
1.2.1.2. Мгновенная скорость . . . . .	44
1.2.2. Ускорение . . . . .	45
1.2.3. Простое движение в одномерном пространстве . . . . .	47
1.3. Движение в нескольких измерениях . . . . .	51
1.3.1. Вектор скорости . . . . .	52
1.3.2. Вектор ускорения . . . . .	53
1.3.3. Свободное падение и движение тела, брошенного под углом к горизонту . . . . .	56
1.4. Вращение . . . . .	59
1.4.1. Угловая скорость . . . . .	59
1.4.2. Угловое ускорение . . . . .	61
1.4.3. Скорость точки, движущейся по окружности . . . . .	62
<b>Глава 2. Динамика . . . . .</b>	<b>64</b>
2.1. Основные законы динамики . . . . .	64
2.1.1. Масса и импульс . . . . .	64
2.1.1.1. Масса . . . . .	64
2.1.1.2. Импульс . . . . .	66
2.1.2. Законы Ньютона . . . . .	67
2.1.2.1. Закон инерции (первый закон Ньютона) . . . . .	67
2.1.2.2. Основной закон динамики (второй закон Ньютона) . . . . .	68

2.1.2.3. Сила . . . . .	69
2.1.2.4. Принцип действия (третий закон Ньютона) . . . . .	70
2.1.2.5. Силы инерции . . . . .	71
2.1.2.6. Принцип Даламбера . . . . .	72
2.1.2.7. Сложение сил . . . . .	72
2.1.2.8. Разложение сил на составляющие . . . . .	74
2.1.3. Момент импульса . . . . .	76
2.1.4. Момент силы . . . . .	77
2.1.5. Основные законы динамики для вращательного движения . . . . .	80
2.2. Силы . . . . .	81
2.2.1. Сила тяжести . . . . .	81
2.2.2. Сила упругости . . . . .	82
2.2.3. Силы трения . . . . .	84
2.2.3.1. Трение покоя . . . . .	84
2.2.3.2. Трение скольжения . . . . .	85
2.2.3.3. Трение качения . . . . .	86
2.2.3.4. Трение между канатом и блоком . . . . .	87
2.3. Силы инерции во вращающейся системе отсчета . . . . .	88
2.3.1. Центробежная и центростремительная силы . . . . .	88
2.3.2. Кориолисова сила . . . . .	90
2.4. Работа и энергия . . . . .	92
2.4.1. Работа . . . . .	92
2.4.2. Энергия . . . . .	94
2.4.3. Кинетическая энергия . . . . .	95
2.4.4. Потенциальная энергия . . . . .	97
2.4.4.1. Работа против силы тяжести . . . . .	97
2.4.4.2. Работа деформации и потенциальная энергия пружины . . . . .	98
2.4.5. Работа сил трения . . . . .	100
2.5. Мощность . . . . .	100
2.5.1. Коэффициент полезного действия . . . . .	101
2.6. Удар . . . . .	102
2.6.1. Упругий прямой центральный удар . . . . .	105
2.6.2. Упругий косой центральный удар . . . . .	106
2.6.3. Упругий косой удар с неподвижным телом . . . . .	107
2.6.4. Неупругий удар . . . . .	108
2.6.4.1. Частично неупругий удар . . . . .	108
2.6.4.2. Абсолютно неупругий удар . . . . .	108
2.7. Движение ракеты . . . . .	109
2.7.1. Сила тяги . . . . .	109
2.7.2. Уравнения движения ракеты . . . . .	111
2.8. Система материальных точек . . . . .	112
2.8.1. Уравнения движения . . . . .	112
2.8.2. Закон сохранения импульса . . . . .	114
2.8.3. Полный момент импульса . . . . .	115
2.8.4. Закон сохранения энергии . . . . .	116
2.9. Уравнение Лагранжа и Гамильтона . . . . .	117
2.9.1. Уравнение Лагранжа и принцип Гамильтона . . . . .	117
2.9.2. Канонические уравнения Гамильтона . . . . .	120

<b>Глава 3. Абсолютно твердое тело</b> . . . . .	123
3.1. Кинематика . . . . .	123
3.1.1. Плотность . . . . .	123
3.1.2. Центр масс . . . . .	124
3.1.3. Основные кинематические величины. . . . .	125
3.2. Статика . . . . .	127
3.2.1. Сила как векторная величина . . . . .	128
3.2.2. Вращающий момент . . . . .	130
3.2.3. Пара сил . . . . .	131
3.2.4. Условия статического равновесия . . . . .	132
3.2.5. Техническая механика . . . . .	134
3.2.5.1. Реакции опор. . . . .	134
3.2.5.2. Каркасная конструкция . . . . .	135
3.2.6. Простые механизмы . . . . .	136
3.2.6.1. Рычаг. . . . .	136
3.2.6.2. Клин и винт . . . . .	137
3.2.6.3. Блоки . . . . .	138
3.3. Динамика. . . . .	142
3.4. Момент инерции тела и момент импульса . . . . .	142
3.4.1. Момент инерции тела . . . . .	143
3.4.1.1. Теорема Штейнера. . . . .	145
3.4.1.2. Моменты инерции геометрических тел. . . . .	146
3.4.2. Момент импульса . . . . .	147
3.4.2.1. Равновесие при вращательном движении . . . . .	149
3.5. Работа, энергия и мощность. . . . .	149
3.5.1. Кинетическая энергия . . . . .	150
3.5.2. Потенциальная энергия упругой деформации . . . . .	152
3.6. Теория гироскопа. . . . .	153
3.6.1. Тензор инерции. . . . .	153
3.6.2. Нутация и прецессия. . . . .	156
3.6.2.1. Нутация. . . . .	157
3.6.2.2. Прецессия . . . . .	158
3.6.2.3. Гироскопический момент. . . . .	160
3.6.3. Применение гироскопов . . . . .	160
<b>Глава 4. Микромеханика</b> . . . . .	162
4.1. Тонкопленочная техника . . . . .	162
4.2. Методы экспонирования и травления. . . . .	163
4.3. Применение . . . . .	165
4.3.1. Чувствительные элементы и датчики . . . . .	166
4.3.2. Исполнительные элементы . . . . .	167
4.3.3. Техническое использование. . . . .	168
<b>Глава 5. Гравитация и теория относительности</b> . . . . .	170
5.1. Гравитационное поле . . . . .	170
5.1.1. Закон всемирного тяготения . . . . .	170
5.1.2. Движение планет. . . . .	173
5.1.3. Планетная система . . . . .	174
5.1.3.1. Солнце и планеты . . . . .	174
5.1.3.2. Спутники. . . . .	177
5.2. Специальная теория относительности. . . . .	179

5.2.1. Релятивистский принцип . . . . .	179
5.2.2. Преобразования Лоренца . . . . .	182
5.2.2.1. Сложение скоростей . . . . .	186
5.2.3. Релятивистские эффекты . . . . .	187
5.2.3.1. Сокращение длины . . . . .	187
5.2.3.2. Замедление времени . . . . .	188
5.2.4. Релятивистская динамика . . . . .	188
5.2.4.1. Релятивистское увеличение массы . . . . .	189
5.2.4.2. Релятивистская кинетическая энергия . . . . .	190
5.3. Общая теория относительности и космология . . . . .	192
5.3.1. Звезды и галактики . . . . .	193
5.3.1.1. Развитие звезд . . . . .	195
<b>Глава 6. Механика деформируемого тела . . . . .</b>	<b>197</b>
6.1. Теория упругости . . . . .	197
6.1.1. Напряжение . . . . .	197
6.1.1.1. Растяжение, изгиб, сдвиг, кручение . . . . .	199
6.1.2. Упругая деформация . . . . .	199
6.1.2.1. Растяжение (сжатие) . . . . .	200
6.1.2.2. Поперечное растяжение . . . . .	202
6.1.2.3. Всестороннее сжатие . . . . .	203
6.1.2.4. Изгиб стержня (балки) . . . . .	205
6.1.2.5. Сдвиг . . . . .	209
6.1.2.6. Кручение . . . . .	210
6.1.2.7. Энергия и работа при деформации . . . . .	211
6.1.3. Пластические деформации . . . . .	212
6.1.3.1. Области диаграммы при нагрузках на растяжение . . . . .	213
6.1.3.2. Продольный изгиб . . . . .	215
6.1.3.3. Твердость . . . . .	216
6.2. Гидроаэростатика . . . . .	217
6.2.1. Жидкости и газы . . . . .	218
6.2.2. Давление . . . . .	218
6.2.2.1. Давление поршня . . . . .	219
6.2.2.2. Гидростатическое давление в жидкости . . . . .	220
6.2.2.3. Сжимаемость . . . . .	222
6.2.2.4. Давление в газе под действием силы тяжести . . . . .	223
6.2.2.5. Насосы . . . . .	225
6.2.3. Выталкивающая сила . . . . .	227
6.2.4. Когезия, адгезия и поверхностное напряжение . . . . .	230
6.2.4.1. Капиллярность . . . . .	232
6.3. Гидродинамика и аэродинамика . . . . .	234
6.3.1. Поле тока . . . . .	234
6.3.2. Основные уравнения идеального потока . . . . .	235
6.3.2.1. Уравнение непрерывности . . . . .	235
6.3.2.2. Уравнение Эйлера . . . . .	239
6.3.2.3. Закон Бернулли . . . . .	239
6.3.2.4. Формула Торричелли . . . . .	242
6.3.2.5. Эффект увлечения газа движущейся струей жидкости . . . . .	244
6.3.2.6. Движение тел в жидкостях и газах . . . . .	245
6.3.3. Реальные потоки . . . . .	246
6.3.3.1. Внутреннее трение . . . . .	246

6.3.3.2. Уравнение Навье-Стокса . . . . .	249
6.3.3.3. Ламинарный поток в трубе. . . . .	249
6.3.3.4. Обтекание шара . . . . .	251
6.3.3.5. Уравнение Бернулли . . . . .	252
6.3.4. Турбулентные потоки . . . . .	252
6.3.4.1. Коэффициент аэродинамического сопротивления . . . . .	253
6.3.5. Закон подобия. . . . .	255
6.3.5.1. Трение в трубе . . . . .	258
6.3.6. Потоки с изменяющейся плотностью. . . . .	259
<b>Глава 7. Нелинейная динамика, хаос и фракталы . . . . .</b>	<b>261</b>
7.1. Динамические системы и хаос . . . . .	262
7.1.1. Динамические системы . . . . .	262
7.1.1.1. Пространство состояний и фазовое пространство . . . . .	264
7.1.2. Консервативные системы . . . . .	268
7.1.2.1. Теорема Лиувилля . . . . .	269
7.1.2.2. Интегрируемость . . . . .	269
7.1.3. Диссипативные системы . . . . .	270
7.1.3.1. Странные аттракторы, детерминистский хаос . . . . .	271
7.2. Бифуркации . . . . .	273
7.2.1. Логистическое отображение. . . . .	274
7.2.2. Универсальность . . . . .	277
7.3. Фракталы. . . . .	277
<b>Глава 8. Таблицы к разделу «Механика» . . . . .</b>	<b>280</b>
Обозначения, принятые в разделе «Механика» . . . . .	280
8.1. Плотность . . . . .	282
8.1.1. Твердое тело . . . . .	282
8.1.1.1. Металлические сплавы. . . . .	283
8.1.1.2. Неметаллы . . . . .	284
8.1.2. Жидкости . . . . .	288
8.1.3. Газы . . . . .	290
8.2. Упругие свойства . . . . .	290
8.3. Динамические свойства . . . . .	295
8.3.1. Коэффициенты трения . . . . .	295
8.3.2. Сжимаемость. . . . .	297
8.3.2.1. Газы. . . . .	297
8.3.2.2. Жидкости и твердые тела. . . . .	300
8.3.3. Вязкость . . . . .	300
8.3.4. Аэродинамическое сопротивление. . . . .	304
8.3.5. Поверхностное натяжение . . . . .	305

## Часть II

### Колебания, волновые процессы, акустика и оптика

<b>Глава 9. Колебания. . . . .</b>	<b>307</b>
9.1. Свободные незатухающие колебания консервативной системы . . . . .	310
9.1.1. Пружинный маятник . . . . .	310
9.1.2. Нитяной маятник . . . . .	313
9.1.2.1. Колебание и круговое движение. . . . .	315

9.1.3. Физический маятник . . . . .	316
9.1.4. Крутильные колебания . . . . .	318
9.1.5. Жидкостный маятник . . . . .	319
9.1.6. Электрический колебательный контур . . . . .	320
9.2. Затухающие колебания . . . . .	321
9.2.1. Трение . . . . .	322
9.2.1.1. Трение качения и трение скольжения. . . . .	322
9.2.1.2. Вязкое трение . . . . .	323
9.2.1.3. Трение Ньютона . . . . .	326
9.2.2. Затухающие колебания в электрическом колебательном контуре . . . . .	326
9.3. Вынужденные колебания . . . . .	328
9.4. Сложение колебаний . . . . .	330
9.4.1. Сложение колебаний одинаковой частоты . . . . .	331
9.4.2. Сложение колебаний разных частот . . . . .	332
9.4.3. Сложение перпендикулярных колебаний разных частот . . . . .	334
9.4.4. Фурье анализ, разложение на гармоники . . . . .	335
9.5. Связанные колебания . . . . .	337
<b>Глава 10. Волновые процессы . . . . .</b>	<b>340</b>
10.1. Основные свойства волн . . . . .	340
10.2. Поляризация . . . . .	346
10.3. Интерференция . . . . .	347
10.3.1. Когерентность . . . . .	347
10.3.2. Интерференция . . . . .	348
10.3.3. Стоячие волны . . . . .	349
10.3.3.1. Стоячие волны в стрижнях с односторонней заделкой . . . . .	350
10.3.3.2. Стоячие волны в струнах . . . . .	351
10.3.3.3. Стоячие волны в трубке Кундта . . . . .	352
10.3.4. Волны с различными частотами . . . . .	353
10.4. Эффект Доплера . . . . .	354
10.4.1. Волны Маха и ударные волны Маха . . . . .	355
10.5. Преломление . . . . .	356
10.6. Отражение . . . . .	357
10.6.1. Фазовые соотношения . . . . .	358
10.7. Дисперсия . . . . .	358
10.8. Дифракция . . . . .	359
10.8.1. Дифракция на узкой щели . . . . .	359
10.8.2. Дифракционные решетки . . . . .	361
10.9. Модуляция волн . . . . .	362
10.10. Поверхностные волны . . . . .	364
<b>Глава 11. Акустика . . . . .</b>	<b>365</b>
11.1. Звуковые волны . . . . .	365
11.1.1. Скорость звука . . . . .	365
11.1.2. Параметры звука . . . . .	367
11.1.2.1. Амплитуда звуковых колебаний . . . . .	369
11.1.2.2. Скорость колебаний в волне и волновое сопротивление . . . . .	369
11.1.2.3. Плотность энергии акустической волны . . . . .	370

11.1.2.4. Интенсивность и плотность потока энергии звуковой волны . . . . .	371
11.1.3. Относительные величины . . . . .	372
11.2. Источники и приемники звука . . . . .	374
11.2.1. Механические источники звука . . . . .	374
11.2.1.1. Колеблющийся столб воздуха . . . . .	376
11.2.2. Электроакустический преобразователь . . . . .	377
11.2.2.1. Приемник звуковых колебаний или микрофон . . . . .	379
11.2.3. Поглощение звука . . . . .	381
11.2.4. Звукоизоляция . . . . .	384
11.2.4.1. Реверберация . . . . .	385
11.2.5. Поточковый шум . . . . .	386
11.3. Ультразвук . . . . .	386
11.4. Физиологическая акустика и слух . . . . .	387
11.4.1. Восприятие звука . . . . .	388
11.4.2. Нормированный уровень звука . . . . .	389
11.5. Музыкальная акустика . . . . .	390
<b>Глава 12. Оптика . . . . .</b>	<b>393</b>
12.1. Геометрическая оптика . . . . .	395
12.1.1. Оптические изображения — основные понятия . . . . .	397
12.1.2. Отражение . . . . .	400
12.1.2.1. Плоское зеркало . . . . .	401
12.1.2.2. Вогнутое зеркало . . . . .	401
12.1.2.3. Выпуклое зеркало . . . . .	405
12.1.3. Преломление . . . . .	405
12.1.3.1. Показатель преломления . . . . .	405
12.1.3.2. Закон преломления . . . . .	406
12.1.3.3. Формулы Френеля . . . . .	407
12.1.3.4. Радуга . . . . .	408
12.1.3.5. Полное отражение . . . . .	409
12.1.3.6. Световод . . . . .	410
12.1.3.7. Преломление в призме . . . . .	416
12.1.3.8. Преломление в плоскопараллельных пластинках . . . . .	418
12.1.3.9. Преломление на сферических поверхностях . . . . .	419
12.2. Линзы . . . . .	420
12.2.1. Толстые линзы . . . . .	421
12.2.2. Тонкие линзы . . . . .	427
12.3. Системы линз . . . . .	427
12.3.1. Линзы с диафрагмой . . . . .	428
12.3.2. Погрешности изображения . . . . .	429
12.3.2.1. Линзы с градиентным профилем показателя преломления . . . . .	431
12.4. Оптические инструменты . . . . .	432
12.4.1. «Дырочная» камера . . . . .	433
12.4.2. Фотокамера . . . . .	433
12.4.3. Человеческий глаз . . . . .	434
12.4.4. Глаз и оптические инструменты . . . . .	436
12.4.4.1. Лупа . . . . .	436
12.4.4.2. Микроскоп . . . . .	437
12.4.4.3. Телескоп . . . . .	438

12.5. Волновая оптика . . . . .	441
12.5.1. Рассеяние света . . . . .	441
12.5.2. Дифракция и разрешающая способность . . . . .	442
12.5.3. Преломление . . . . .	445
12.5.4. Интерференция . . . . .	446
12.5.5. Дифракционные оптические элементы . . . . .	451
12.5.5.1. Дифракционные решетки . . . . .	451
12.5.5.2. Зонная пластинка Френеля . . . . .	451
12.5.5.3. Зонная линза Френеля . . . . .	452
12.5.5.4. Голограмма . . . . .	453
12.5.5.5. Компьютерная голограмма . . . . .	455
12.5.6. Дисперсия . . . . .	456
12.5.7. Спектральные приборы . . . . .	458
12.5.8. Поляризация света . . . . .	459
12.5.8.1. Поляризация при отражении . . . . .	461
12.5.8.2. Поляризация при преломлении . . . . .	461
12.6. Фотометрия . . . . .	465
12.6.1. Фотометрические величины . . . . .	465
12.6.1.1. Источники излучения . . . . .	467
12.6.1.2. Спектральные величины . . . . .	470
12.6.1.3. Отражение, поглощение, пропускание . . . . .	470
12.6.2. Световые величины . . . . .	473
<b>Глава 13. Таблицы к разделам «Колебания», «Акустика» и «Оптика» . . . . .</b>	<b>478</b>
Обозначения, принятые в разделах «Колебания», «Волновые процессы», «Акустика» и «Оптика» . . . . .	478
13.1. Таблицы к разделам «Колебания» и «Акустика» . . . . .	480
13.2. Таблицы к разделу «Оптика» . . . . .	485

### Часть III Электричество

<b>Глава 14. Заряды и токи . . . . .</b>	<b>490</b>
14.1. Электрический заряд . . . . .	490
14.1.1. Закон Кулона . . . . .	492
14.2. Плотность электрического заряда . . . . .	493
14.3. Электрический ток . . . . .	496
14.3.1. Закон Ампера . . . . .	498
14.4. Плотность электрического тока . . . . .	499
14.4.1. Электрическое поле . . . . .	501
14.5. Электрическое сопротивление и электрическая проводимость . . . . .	501
14.5.1. Электрическое сопротивление . . . . .	501
14.5.2. Электрическая проводимость . . . . .	502
14.5.3. Удельное сопротивление и электрическая удельная проводимость . . . . .	503
14.5.4. Подвижность носителей заряда . . . . .	504
14.5.5. Температурная зависимость сопротивления . . . . .	505
14.5.6. Переменное сопротивление . . . . .	506
14.5.7. Включение сопротивления . . . . .	507



<b>Глава 15. Электрическое и магнитное поле . . . . .</b>	<b>509</b>
15.1. Электрическое поле . . . . .	509
15.2. Электростатическая индукция . . . . .	510
15.2.1. Силовые линии электростатического поля . . . . .	511
15.2.2. Напряженность электрического поля точечного заряда . . . . .	514
15.3. Сила . . . . .	515
15.4. Электрическое напряжение . . . . .	516
15.5. Электрический потенциал . . . . .	517
15.5.1. Эквипотенциальные поверхности . . . . .	519
15.5.2. Напряженность поля и потенциал в случае некоторых типов распределения заряда . . . . .	519
15.5.3. Поток вектора напряженности . . . . .	523
15.5.4. Вектор электрического смещения в вакууме . . . . .	525
15.6. Электрическая поляризация . . . . .	527
15.6.1. Диэлектрик . . . . .	528
15.7. Емкость . . . . .	530
15.7.1. Плоский конденсатор . . . . .	531
15.7.2. Параллельное включение конденсаторов . . . . .	532
15.7.3. Последовательное включение конденсаторов . . . . .	532
15.7.4. Емкости простых систем проводников . . . . .	532
15.8. Энергия и плотность энергии электрического поля . . . . .	533
15.9. Электрическое поле на границе раздела сред . . . . .	534
15.10. Магнитное поле . . . . .	536
15.11. Магнетизм . . . . .	536
15.11.1. Магнитные силовые линии . . . . .	537
15.12. Магнитная индукция . . . . .	539
15.13. Магнитный поток . . . . .	541
15.14. Напряженность магнитного поля . . . . .	543
15.15. Магнитное напряжение и магнитный контур . . . . .	544
15.15.1. Закон полного тока . . . . .	546
15.15.2. Закон Био-Савара . . . . .	548
15.15.3. Магнитное поле прямолинейного проводника с током . . . . .	549
15.15.4. Магнитные поля некоторых систем распределения тока . . . . .	551
15.16. Вещество в магнитном поле . . . . .	553
15.16.1. Диамагнетизм . . . . .	554
15.16.2. Парамагнетизм . . . . .	555
15.16.3. Ферромагнетизм . . . . .	555
15.16.4. Антиферромагнетизм . . . . .	558
15.16.5. Ферримагнетизм . . . . .	559
15.17. Магнитное поле на границе раздела двух сред . . . . .	559
15.18. Явление электромагнитной индукции . . . . .	560
15.18.1. Явление электромагнитной индукции в постоянном магнитном поле . . . . .	561
15.18.2. Явление электромагнитной индукции в переменном магнитном поле . . . . .	562
15.19. Явление самоиндукции . . . . .	563
15.19.1. Индуктивность некоторых систем проводников . . . . .	565
15.19.2. Магнитная проводимость . . . . .	566
15.20. Взаимная индукция . . . . .	567
15.20.1. Трансформатор . . . . .	568
15.21. Энергия и плотность энергии магнитного поля . . . . .	569

15.22. Уравнения Максвелла . . . . .	572
15.22.1. Ток смещения . . . . .	573
15.22.2. Электромагнитные волны . . . . .	574
15.22.3. Вектор Пойнтинга . . . . .	575
<b>Глава 16. Применение в электротехнике. . . . .</b>	<b>577</b>
16.1. Цепь постоянного тока . . . . .	578
16.1.1. Законы Кирхгофа для цепи постоянного тока . . . . .	579
16.1.2. Сопротивления в цепи постоянного тока . . . . .	580
16.1.3. Реальный источник напряжения . . . . .	582
16.1.4. Мощность и энергия цепи постоянного тока. . . . .	583
16.1.5. Согласование по мощности. . . . .	585
16.1.6. Измерение тока и напряжения . . . . .	585
16.1.6.1. Измерение тока . . . . .	585
16.1.6.2. Измерение напряжения . . . . .	586
16.1.6.3. Измерение мощности . . . . .	586
16.1.7. Определение сопротивления компенсационным методом . . . . .	587
16.1.8. Зарядка и разрядка конденсатора . . . . .	588
16.1.9. Ток при замыкании и размыкании $RL$ -цепи . . . . .	590
16.2. Цепь переменного тока . . . . .	591
16.2.1. Переменные величины . . . . .	591
16.2.1.1. Среднее значение периодических функций . . . . .	592
16.2.2. Изображение синусоиды на векторной диаграмме . . . . .	594
16.2.3. Правила арифметических действий с комплексными величинами. . . . .	596
16.2.4. Основные понятия техники переменного тока. . . . .	599
16.2.4.1. Комплексное сопротивление . . . . .	599
16.2.4.2. Закон Ома в комплексной форме . . . . .	601
16.2.4.3. Комплексная проводимость . . . . .	601
16.2.4.4. Мощность в цепи переменного тока. . . . .	603
16.2.4.5. Представление мощности в комплексном виде . . . . .	604
16.2.4.6. Законы Кирхгофа для цепи переменного тока . . . . .	605
16.2.4.7. Последовательное включение комплексных сопротивлений . . . . .	606
16.2.4.8. Параллельное включение комплексных сопротивлений . . . . .	606
16.2.5. Основные элементы цепи переменного тока . . . . .	607
16.2.5.1. Омическое сопротивление . . . . .	607
16.2.5.2. Емкость . . . . .	608
16.2.5.3. Индуктивность. . . . .	609
16.2.5.4. Комплексные сопротивления простых двухполюсников. . . . .	611
16.2.6. Последовательное включение сопротивления и емкости . . . . .	611
16.2.7. Параллельное включение сопротивления и емкости . . . . .	612
16.2.8. Параллельное включение сопротивления и индуктивности . . . . .	613
16.2.9. Последовательное включение сопротивления и индуктивности. . . . .	614
16.2.10. Последовательный колебательный контур . . . . .	615
16.2.11. Параллельный колебательный контур. . . . .	617
16.2.12. Эквивалентные схемы последовательного и параллельного включения. . . . .	619

16.2.13. Радиоволны . . . . .	621
16.3. Электрические машины. . . . .	622
16.3.1. Принципы функционирования . . . . .	623
16.3.2. Машины постоянного тока . . . . .	624
16.3.3. Машина переменного тока . . . . .	627
16.3.3.1. Синхронная машина. . . . .	627
16.3.3.2. Асинхронная машина . . . . .	628
<b>Глава 17. Ток в жидкостях, газах и вакууме . . . . .</b>	<b>631</b>
17.1. Электролиз . . . . .	631
17.1.1. Количество вещества. . . . .	631
17.1.2. Ионы . . . . .	631
17.1.3. Электроды . . . . .	632
17.1.4. Электролиты . . . . .	632
17.1.4.1. Электрическая проводимость электролитов. . . . .	633
17.1.4.2. Закон Фарадея . . . . .	634
17.1.4.3. Электрический двойной слой . . . . .	636
17.1.4.4. Уравнение Нернста . . . . .	637
17.1.5. Гальванические элементы . . . . .	638
17.1.5.1. Электролитическая поляризация. . . . .	639
17.1.5.2. Топливный элемент . . . . .	639
17.1.5.3. Аккумулятор. . . . .	640
17.1.5.4. Включение гальванических элементов . . . . .	641
17.1.6. Электрокинетический эффект . . . . .	641
17.1.6.1. Электрофорез . . . . .	642
17.1.6.2. Электроосмос . . . . .	642
17.1.6.3. Потенциал течения. . . . .	642
17.2. Ток в газах . . . . .	642
17.2.1. Несамостоятельный газовый разряд. . . . .	642
17.2.1.1. Дрейфовая скорость ионов в газах . . . . .	643
17.2.1.2. Электрическая проводимость в газах. . . . .	644
17.2.1.3. Рекомбинация . . . . .	644
17.2.1.4. Вольт-амперная характеристика газов . . . . .	645
17.2.2. Самостоятельный газовый разряд . . . . .	646
17.2.2.1. Типы самостоятельных газовых разрядов . . . . .	646
17.2.2.2. Вольт-амперная характеристика газового разряда . . . . .	647
17.3. Электронная эмиссия . . . . .	648
17.3.1. Термоэлектронная эмиссия . . . . .	648
17.3.2. Фотоэффект . . . . .	649
17.3.3. Автоэлектронная эмиссия . . . . .	649
17.3.4. Вторичная электронная эмиссия . . . . .	650
17.4. Электронные лампы . . . . .	650
17.4.1. Ламповый диод . . . . .	651
17.4.2. Ламповый триод . . . . .	652
17.4.2.1. Параметры лампы . . . . .	653
17.4.3. Тетрод . . . . .	655
17.4.4. Катодные лучи . . . . .	655
17.4.5. Каналовые лучи . . . . .	656
<b>Глава 18. Физика плазмы . . . . .</b>	<b>657</b>
18.1. Свойства плазмы. . . . .	657

18.1.1. Характеристики плазмы . . . . .	657
18.1.1.1. Коэффициент ионизации . . . . .	657
18.1.1.2. Функция распределения плазмы . . . . .	658
18.1.1.3. Энергоемкость плазмы . . . . .	661
18.1.1.4. Электрическая проводимость плазмы . . . . .	661
18.1.1.5. Теплопроводность плазмы . . . . .	663
18.1.1.6. Экранирование и длина (радиус) Дебая . . . . .	663
18.1.1.7. Частота колебаний плазмы . . . . .	665
18.1.2. Излучение плазмы. . . . .	665
18.1.3. Плазма в магнитном поле . . . . .	666
18.1.3.1. Движение заряженных частиц во внешнем поле . . . . .	666
18.1.3.2. Движение носителей заряда в магнитном поле с соударениями . . . . .	668
18.1.3.3. Дрейф во внешнем электрическом поле . . . . .	668
18.1.3.4. Теории континуума . . . . .	669
18.1.4. Плазменные волны . . . . .	669
18.1.4.1. Акустические волны в плазме . . . . .	670
18.1.4.2. Магнитогидродинамические волны . . . . .	670
18.1.4.3. Электромагнитные волны в плазме . . . . .	671
18.1.4.4. Затухание Ландау . . . . .	672
18.2. Создание плазмы . . . . .	672
18.2.1. Тепловой метод создания плазмы . . . . .	673
18.2.2. Создание плазмы методом компрессии . . . . .	673
18.2.2.1. Пинч-эффект . . . . .	674
18.3. Получение энергии при помощи плазмы . . . . .	675
18.3.1. МГД-генератор . . . . .	675
18.3.2. Термоядерный реактор . . . . .	676
18.3.3. Синтез в случае магнитного удержания . . . . .	678
18.3.4. Синтез в случае инерционного удержания . . . . .	679
<b>Глава 19. Таблицы к разделу «Электричество» . . . . .</b>	<b>681</b>
Обозначения, принятые в разделе «Электричество» . . . . .	681
19.1. Металлы и сплавы. . . . .	684
19.1.1. Удельное электрическое сопротивление. . . . .	684
19.1.2. Ряд напряжений . . . . .	687
19.2. Диэлектрики . . . . .	689
19.3. Практические таблицы по электротехнике. . . . .	697
19.4. Магнитные свойства . . . . .	700
19.5. Ферромагнитные свойства. . . . .	703
19.5.1. Магнитная анизотропия . . . . .	705
19.6. Ферриты . . . . .	707
19.7. Антиферромагнетики. . . . .	707
19.8. Подвижность ионов . . . . .	708
<b>Часть IV</b>	
<b>Термодинамика</b>	
<b>Глава 20. Равновесное состояние системы и его параметры. . . . .</b>	<b>709</b>
20.1. Системы, фазы и равновесное состояние. . . . .	709
20.1.1. Системы . . . . .	709

20.1.1.1. Изолированные или замкнутые системы . . . . .	709
20.1.1.2. Закрытые системы . . . . .	710
20.1.1.3. Открытые системы . . . . .	710
20.1.2. Фазы . . . . .	711
20.1.3. Равновесие . . . . .	712
20.1.3.1. Условия равновесия . . . . .	714
20.2. Термодинамические параметры . . . . .	714
20.2.1. Термодинамические параметры: определение понятий. . . . .	714
20.2.1.1. Экстенсивные параметры состояния . . . . .	715
20.2.1.2. Интенсивные параметры состояния . . . . .	716
20.2.1.3. Удельные и молярные величины . . . . .	716
20.2.2. Температура . . . . .	717
20.2.2.1. Единицы измерения температуры . . . . .	717
20.2.2.2. Реперные точки . . . . .	719
20.2.2.3. Измерение температуры . . . . .	719
20.2.2.4. Шкала Кельвина и точка абсолютного нуля . . . . .	722
20.2.3. Давление . . . . .	723
20.2.3.1. Единицы измерения давления . . . . .	724
20.2.3.2. Измерение давления . . . . .	725
20.2.4. Число частиц, количество вещества и число Авогадро . . . . .	727
20.2.5. Энтропия . . . . .	730
20.3. Термодинамические потенциалы . . . . .	731
20.3.1. Принцип максимальной энтропии — принцип минимальной энергии . . . . .	731
20.3.2. Внутренняя энергия как потенциал . . . . .	732
20.3.2.1. Внутренняя энергия идеального газа . . . . .	732
20.3.3. Энтропия как термодинамический потенциал . . . . .	733
20.3.3.1. Энтропия идеального газа . . . . .	733
20.3.4. Свободная энергия . . . . .	734
20.3.5. Энтальпия . . . . .	735
20.3.5.1. Энтальпия идеального газа . . . . .	737
20.3.5.2. Энтальпия и фазовые переходы . . . . .	737
20.3.5.3. Энтальпия реакции и теорема Гесса . . . . .	737
20.3.6. Свободная энтальпия . . . . .	738
20.3.6.1. Химические реакции . . . . .	739
20.3.6.2. Принцип Ле Шателье . . . . .	740
20.3.7. Соотношения Максвелла . . . . .	740
20.3.8. Термодинамическая устойчивость . . . . .	741
20.4. Идеальный газ . . . . .	742
20.4.1. Закон Бойля-Мариотта . . . . .	742
20.4.2. Закон Гей-Люссака . . . . .	744
20.4.3. Уравнение состояния . . . . .	745
20.5. Кинетическая теория идеального газа . . . . .	745
20.5.1. Давление и температура . . . . .	745
20.5.1.1. Средняя квадратичная скорость . . . . .	747
20.5.2. Распределение Максвелла-Больцмана . . . . .	748
20.5.3. Степени свободы . . . . .	749
20.5.4. Закон равномерного распределения энергии . . . . .	750
20.5.5. Явления переноса в газах . . . . .	751
20.6. Уравнения состояния . . . . .	754
20.6.1. Уравнение состояния идеального газа . . . . .	754

20.6.1.1. Газовая постоянная . . . . .	754
20.6.1.2. Газовые смеси . . . . .	756
20.6.1.3. Расчет величин с использованием уравнения состояния идеального газа . . . . .	757
20.6.1.4. Барометрическая формула зависимости давления от высоты. . . . .	758
20.6.2. Уравнение состояния реального газа . . . . .	758
20.6.2.1. Вириальное уравнение состояния реального газа . . . . .	759
20.6.2.2. Уравнение Ван-дер-Ваальса . . . . .	760
20.6.2.3. Область сосуществования фаз. . . . .	762
20.6.2.4. Критическая точка . . . . .	762
20.6.2.5. Закон соответственных состояний . . . . .	764
20.6.2.6. Уравнение Ван-дер-Ваальса как вириальное разложение в ряд . . . . .	764
20.6.3. Уравнения состояния для жидкостей и твердых тел . . . . .	766
20.6.3.1. Аномалия воды. . . . .	768

## **Глава 21. Теплота, превращения энергии и изменение агрегатного состояния**

<b>вещества . . . . .</b>	<b>769</b>
21.1. Формы энергии. . . . .	769
21.1.1. Единицы измерения энергии. . . . .	769
21.1.1.1. внесистемные единицы измерения количества энергии . . . . .	770
21.1.2. Работа. . . . .	770
21.1.3. Химический потенциал. . . . .	772
21.1.4. Теплота. . . . .	772
21.1.4.1. Удельная теплота . . . . .	773
21.2. Превращение энергии . . . . .	774
21.2.1. Превращение эквивалентной энергии в тепло . . . . .	774
21.2.1.1. Электрическая энергия. . . . .	774
21.2.1.2. Механическая энергия . . . . .	775
21.2.1.3. Энергия сгорания. . . . .	776
21.2.1.4. Энергия Солнца . . . . .	778
21.2.2. Преобразование теплоты в другие формы энергии. . . . .	779
21.2.3. Эксергия и анергия. . . . .	779
21.3. Теплоемкость . . . . .	780
21.3.1. Полная теплоемкость . . . . .	780
21.3.1.1. Теплоемкость химических веществ . . . . .	781
21.3.1.2. Тепловое значение калориметра . . . . .	782
21.3.2. Молярная теплоемкость . . . . .	782
21.3.3. Удельная теплоемкость . . . . .	783
21.3.3.1. Другие свойства удельной теплоемкости . . . . .	785
21.3.3.2. Удельная теплоемкость смеси веществ . . . . .	785
21.3.3.3. Удельная теплоемкость газов . . . . .	785
21.3.3.4. Удельная теплоемкость в идеальном газе . . . . .	786
21.3.3.5. Показатель адиабаты . . . . .	788
21.3.3.6. Удельная теплоемкость жидкостей и твердых тел . . . . .	788
21.4. Изменения состояния . . . . .	789
21.4.1. Обратимые и необратимые процессы. . . . .	789
21.4.2. Изотермический процесс. . . . .	790
21.4.3. Изобарный процесс. . . . .	791

21.4.4. Изохорный процесс . . . . .	792
21.4.5. Адиабатный и изоэнтروпийный процесс . . . . .	793
21.4.5.1. Политропный процесс . . . . .	794
21.4.6. Равновесные состояния . . . . .	795
21.5. Основные законы (начала) термодинамики . . . . .	796
21.5.1. Нулевое начало термодинамики . . . . .	797
21.5.2. Первое начало термодинамики . . . . .	797
21.5.2.1. Эквивалентные формулировки первого начала термодинамики . . . . .	799
21.5.2.2. Микроскопические аспекты первого начала термодинамики . . . . .	799
21.5.3. Второе начало термодинамики . . . . .	800
21.5.4. Третье начало термодинамики . . . . .	801
21.6. Круговые процессы. Цикл Карно . . . . .	801
21.6.1. Определение. Применение круговых процессов . . . . .	801
21.6.1.1. Этапы цикла Карно . . . . .	802
21.6.1.2. Баланс энергии и коэффициент полезного действия цикла Карно . . . . .	804
21.6.2. Приведенная теплота . . . . .	805
21.7. Термодинамические машины. . . . .	806
21.7.1. Прямой и обратный циклы . . . . .	806
21.7.2. Тепловые насосы и холодильные установки . . . . .	807
21.7.3. Цикл Стирлинга . . . . .	808
21.7.4. Паровая машина . . . . .	809
21.7.5. Открытые системы . . . . .	810
21.7.6. Двигатель внутреннего сгорания с принудительным зажиганием и дизельный двигатель . . . . .	811
21.7.6.1. Цикл Отто . . . . .	811
21.7.6.2. Цикл Дизеля . . . . .	812
21.7.7. Газовые турбины. . . . .	813
21.8. Сжижение газа . . . . .	814
21.8.1. Получение низких температур . . . . .	814
21.8.1.1. Охлаждающие смеси . . . . .	815
21.8.1.2. Теплота растворения . . . . .	815
21.8.1.3. Тепловые насосы . . . . .	815
21.8.2. Эффект Джоуля-Томпсона . . . . .	815
21.8.2.1. Метод Линде . . . . .	817
21.8.2.2. Метод Клода . . . . .	817
<b>Глава 22. Фазовые превращения, реакции, процессы переноса тепла . . . . .</b>	<b>818</b>
22.1. Фаза и агрегатные состояния вещества . . . . .	818
22.1.1. Фазы. . . . .	818
22.1.2. Агрегатные состояния . . . . .	819
22.1.3. Изменение агрегатного состояния вещества. . . . .	819
22.1.4. Пар. . . . .	821
22.2. Классификация фазовых превращений . . . . .	822
22.2.1. Фазовый переход первого рода . . . . .	822
22.2.2. Фазовый переход второго рода . . . . .	823
22.2.3. Лямбда-переходы . . . . .	824
22.2.4. Область сосуществования фаз . . . . .	824
22.2.5. Критические индексы . . . . .	825

22.3. Фазовые переходы и газ Ван-дер-Ваальса . . . . .	826
22.3.1. Фазовое равновесие . . . . .	826
22.3.2. Правило Максвелла . . . . .	826
22.3.3. Перегретая жидкость и переохлажденный пар . . . . .	829
22.3.4. Закон соответственных состояний . . . . .	829
22.4. Примеры фазовых переходов . . . . .	830
22.4.1. Магнитные фазовые превращения . . . . .	830
22.4.2. Превращение типа «порядок — беспорядок» . . . . .	831
22.4.3. Превращения кристаллических структур . . . . .	831
22.4.4. Жидкие кристаллы . . . . .	833
22.4.5. Сверхпроводимость . . . . .	834
22.4.6. Сверхтекучесть . . . . .	834
22.5. Многокомпонентные газы . . . . .	835
22.5.1. Парциальное давление и закон Дальтона . . . . .	836
22.5.2. Уравнение Эйлера и соотношение Гиббса-Дюгема . . . . .	837
22.6. Многофазные системы . . . . .	838
22.6.1. Фазовое равновесие . . . . .	838
22.6.2. Правило фаз Гиббса . . . . .	839
22.6.3. Уравнение Клаузиуса-Клапейрона . . . . .	839
22.7. Давление пара в растворах . . . . .	840
22.7.1. Закон Рауля . . . . .	841
22.7.2. Повышение температуры кипения и понижение температуры отвердевания . . . . .	841
22.7.3. Закон Генри-Дальтона . . . . .	843
22.7.4. Паровоздушные смеси (влажный воздух) . . . . .	843
22.8. Химические реакции . . . . .	848
22.8.1. Стехиометрия . . . . .	849
22.8.2. Правило фаз при химических реакциях . . . . .	850
22.8.3. Закон действующих масс . . . . .	851
22.8.4. Значение рН и произведение растворимости . . . . .	852
22.9. Выравнивание температуры . . . . .	854
22.9.1. Конечная температура при теплообмене между двумя системами . . . . .	855
22.9.2. Обратимые и необратимые процессы . . . . .	856
22.10. Теплопередача . . . . .	857
22.10.1. Тепловой поток . . . . .	857
22.10.2. Теплоотдача . . . . .	858
22.10.3. Теплопроводность . . . . .	860
22.10.4. Термическое сопротивление . . . . .	864
22.10.5. Общая теплопередача . . . . .	866
22.10.6. Тепловое излучение . . . . .	872
22.10.7. Излучение на границе раздела сред . . . . .	872
22.11. Явления переноса теплоты и массы . . . . .	875
22.11.1. Закон Фурье . . . . .	875
22.11.2. Уравнение неразрывности . . . . .	875
22.11.3. Уравнение теплопроводности . . . . .	876
22.11.4. Закон Фика и уравнение диффузии . . . . .	877
22.11.5. Решение уравнений теплопроводности и диффузии . . . . .	879

<b>Глава 23. Таблицы к разделу «Термодинамика» . . . . .</b>	<b>880</b>
Обозначения, принятые в разделе «Термодинамика» . . . . .	880



23.1. Характеристические температуры . . . . .	884
23.1.1. Единицы измерения и опорные точки . . . . .	884
23.1.2. Точки плавления и точки кипения . . . . .	886
23.1.3. Температуры Кюри и Нееля . . . . .	894
23.2. Характеристики реальных газов . . . . .	895
23.3. Термические свойства веществ . . . . .	897
23.3.1. Вязкость . . . . .	897
23.3.2. Тепловое расширение, теплоемкость и термическая проводимость . . . . .	897
23.4. Теплопередача . . . . .	904
23.5. Практические поправочные данные . . . . .	906
23.5.1. Измерение давления . . . . .	906
23.5.1.1. Пересчет на уровень моря . . . . .	906
23.5.1.2. Измерения ртутным барометром (корректировка температуры) . . . . .	909
23.5.2. Измерение объема — пересчет к нормальной температуре .	910
23.5.2.1. Измерение объема с помощью стеклянных измерительных приборов . . . . .	911
23.6. Получение жидких низкотемпературных ванн . . . . .	912
23.7. Осушители . . . . .	912
23.8. Давление пара . . . . .	913
23.8.1. Растворы . . . . .	913
23.8.2. Относительная влажность . . . . .	914
23.8.3. Давление паров воды . . . . .	914
23.9. Удельная энтальпия . . . . .	916

## Часть V Квантовая физика

<b>Глава 24. Фотоны — электромагнитное излучение и световые кванты . . . . .</b>	<b>920</b>
24.1. Закон излучения Планка . . . . .	920
24.2. Фотоэффект . . . . .	923
24.3. Эффект Комптона . . . . .	925
<b>Глава 25. Волны материи — волновая механика частиц . . . . .</b>	<b>927</b>
25.1. Волновая природа частиц . . . . .	927
25.1.1. Основы квантовой механики . . . . .	927
25.1.2. Корпускулярно-волновой дуализм . . . . .	928
25.2. Принцип неопределенности Гейзенберга . . . . .	929
25.3. Волновая функция и измеряемая величина . . . . .	930
25.4. Уравнение Шредингера . . . . .	938
25.4.1. Ступенчатый потенциал . . . . .	940
25.4.2. Гармонический осциллятор . . . . .	945
25.4.3. Принцип Паули . . . . .	947
25.5. Спин и магнитный момент . . . . .	948
25.5.1. Спин . . . . .	948
25.5.2. Магнитный момент . . . . .	951
<b>Глава 26. Атомная и молекулярная физика . . . . .</b>	<b>954</b>
26.1. Основные понятия спектроскопии . . . . .	955

26.2. Атом водорода . . . . .	957
26.2.1. Постулаты Бора . . . . .	958
26.3. Стационарные состояния и квантовые числа в центральном поле . . . . .	963
26.4. Многоэлектронные атомы . . . . .	968
26.5. Рентгеновское излучение . . . . .	973
26.5.1. Использование рентгеновского излучения . . . . .	975
26.6. Молекулярные спектры . . . . .	976
26.7. Атомы во внешнем поле . . . . .	980
26.8. Периодическая система элементов . . . . .	983
26.9. Взаимодействие фотонов с атомами и молекулами . . . . .	986
26.9.1. Спонтанное и индуцированное излучение . . . . .	986
<b>Глава 27. Физика элементарных частиц — стандартная модель . . . . .</b>	<b>989</b>
27.1. Классификация видов взаимодействия . . . . .	989
27.1.1. Стандартная модель . . . . .	989
27.1.1.1. Гравитационное взаимодействие . . . . .	990
27.1.1.2. Электромагнитное взаимодействие . . . . .	991
27.1.1.3. Слабое взаимодействие . . . . .	991
27.1.1.4. Сильное взаимодействие . . . . .	993
27.1.2. Кванты поля или калибровочные бозоны . . . . .	994
27.1.3. Фермионы и бозоны . . . . .	996
27.2. Лептоны, кварки и векторные бозоны . . . . .	998
27.2.1. Лептоны . . . . .	998
27.2.2. Кварки . . . . .	999
27.2.3. Адроны . . . . .	1001
27.2.4. Ускорители и детекторы . . . . .	1007
27.3. Симметрия и законы сохранения . . . . .	1009
27.3.1. Сохранение четности и слабое взаимодействие . . . . .	1009
27.3.2. Закон сохранения заряда и образование пар . . . . .	1011
27.3.3. Зарядовое сопряжение и античастицы . . . . .	1012
27.3.4. Инвариантность относительно обращения времени и обратные реакции . . . . .	1012
27.3.5. Законы сохранения . . . . .	1013
27.3.6. Стандартная модель с обратной стороны . . . . .	1014
<b>Глава 28. Ядерная физика . . . . .</b>	<b>1016</b>
28.1. Составляющие ядра . . . . .	1016
28.2. Основные величины атомного ядра . . . . .	1019
28.3. Нуклон-нуклонное взаимодействие . . . . .	1022
28.3.1. Феноменологический нуклон-нуклонный потенциал . . . . .	1022
28.3.2. Потенциал обмена мезонами . . . . .	1023
28.4. Ядерная модель . . . . .	1024
28.4.1. Газ Ферми . . . . .	1024
28.4.2. Материя ядра . . . . .	1025
28.4.3. Модель капли . . . . .	1025
28.4.4. Модель оболочки . . . . .	1027
28.4.5. Коллективная модель ядра . . . . .	1030
28.5. Ядерные реакции . . . . .	1032
28.5.1. Каналы реакции и эффективное сечение реакции . . . . .	1032
28.5.2. Законы сохранения ядерных реакций . . . . .	1035
28.5.2.1. Закон сохранения импульса и энергии . . . . .	1036

28.5.2.2. Закон сохранения момента импульса . . . . .	1037
28.5.3. Упругое рассеяние . . . . .	1038
28.5.4. Ядерная реакция с образованием составного ядра . . . . .	1039
28.5.5. Оптическая модель . . . . .	1041
28.5.6. Прямая реакция . . . . .	1042
28.5.7. Ядерные реакции с тяжелыми ионами . . . . .	1043
28.5.8. Ядерное расщепление . . . . .	1047
28.6. Распад ядра . . . . .	1049
28.6.1. Закон радиоактивного распада . . . . .	1050
28.6.2. $\alpha$ -распад . . . . .	1054
28.6.3. $\beta$ -распад . . . . .	1055
28.6.4. $\gamma$ -распад . . . . .	1058
28.6.5. Эмиссия нуклонов и нуклонных кластеров . . . . .	1059
28.7. Ядерный реактор . . . . .	1059
28.7.1. Типы реакторов . . . . .	1062
28.8. Ядерный синтез . . . . .	1064
28.9. Взаимодействие излучения с веществом . . . . .	1067
28.9.1. Ионизирующие частицы . . . . .	1067
28.9.2. $\gamma$ -излучение . . . . .	1070
28.10. Дозиметрия . . . . .	1072
28.10.1. Методы измерения излучения . . . . .	1076
28.10.2. Радиоактивность окружающей среды . . . . .	1078
<b>Глава 29. Физика твердого тела . . . . .</b>	<b>1081</b>
29.1. Структура твердого тела . . . . .	1081
29.1.1. Некоторые основные понятия физики твердого тела . . . . .	1081
29.1.2. Структура кристалла . . . . .	1082
29.1.3. Решетка Браве . . . . .	1085
29.1.3.1. Простые кристаллические структуры . . . . .	1088
29.1.4. Методы исследования структуры . . . . .	1089
29.1.5. Соотношения связей в кристаллах . . . . .	1091
29.2. Дефекты решетки . . . . .	1096
29.2.1. Точечные дефекты . . . . .	1096
29.2.2. Одномерные дефекты . . . . .	1097
29.2.3. Двумерные дефекты . . . . .	1099
29.2.4. Аморфные твердые тела . . . . .	1100
29.3. Механические свойства материалов . . . . .	1101
29.3.1. Макромолекулярные твердые тела . . . . .	1101
29.3.1.1. Полимеры . . . . .	1102
29.3.1.2. Термопласты . . . . .	1104
29.3.1.3. Эластомеры . . . . .	1104
29.3.1.4. Реактопласты . . . . .	1104
29.3.2. Композиционные материалы . . . . .	1105
29.3.3. Сплавы . . . . .	1105
29.3.4. Жидкие кристаллы . . . . .	1108
29.4. Фононы и колебания решетки . . . . .	1109
29.4.1. Упругие волны . . . . .	1109
29.4.2. Фононы и удельная теплоемкость . . . . .	1114
29.4.3. Модель Эйнштейна . . . . .	1115
29.4.4. Модель Дебая . . . . .	1116
29.4.5. Теплопроводность . . . . .	1118

29.5. Электроны в твердых телах . . . . .	1120
29.5.1. Свободный электронный газ . . . . .	1121
29.5.2. Зонная модель. . . . .	1127
29.6. Полупроводники . . . . .	1131
29.6.1. Примесная проводимость . . . . .	1134
29.6.2. Полупроводниковые диоды . . . . .	1137
29.6.3. Транзисторы . . . . .	1145
29.6.3.1. Биполярные транзисторы . . . . .	1145
29.6.3.2. Принципиальные схемы . . . . .	1148
29.6.3.3. Транзистор Дарлингтона. . . . .	1153
29.6.4. Полевые транзисторы . . . . .	1153
29.6.4.1. Полевой транзистор с <i>p-n</i> -переходом (полевой транзистор с барьером Шоттки) . . . . .	1153
29.6.4.2. Полевой транзистор с изолированным затвором (МДП-, МОП-транзисторы) . . . . .	1155
29.6.5. Тиристор. . . . .	1156
29.6.5.1. Симметричный триодный тиристор. . . . .	1158
29.6.5.2. Запираемый тиристор. . . . .	1158
29.6.5.3. IGBT-тиристор . . . . .	1159
29.6.6. Интегральные микросхемы . . . . .	1159
29.6.6.1. Изготовление интегральных микросхем. . . . .	1159
29.6.6.2. Создание схемных структур. . . . .	1160
29.6.7. Операционный усилитель . . . . .	1162
29.6.7.1. Операционный усилитель с отрицательной обратной связью . . . . .	1164
29.6.7.2. Инверторный усилитель . . . . .	1164
29.6.7.3. Суммирующий усилитель . . . . .	1165
29.6.7.4. Интегратор . . . . .	1165
29.6.7.5. Дифференциатор. . . . .	1166
29.6.7.6. Повторитель напряжения . . . . .	1167
29.6.7.7. Операционный усилитель с положительной обратной связью . . . . .	1167
29.6.7.8. Триггер Шмидта . . . . .	1168
29.7. Сверхпроводимость . . . . .	1168
29.7.1. Основные свойства сверхпроводников. . . . .	1169
29.7.2. Высокотемпературные сверхпроводники . . . . .	1173
29.8. Магнитные свойства . . . . .	1175
29.8.1. Ферромагнетизм . . . . .	1178
29.8.2. Антиферромагнетизм и ферримагнетизм . . . . .	1181
29.9. Диэлектрические свойства . . . . .	1182
29.9.1. Параэлектрики . . . . .	1187
29.9.2. Ферроэлектрики . . . . .	1188
29.10. Оптические свойства кристаллов . . . . .	1189
29.10.1. Экситон и его свойства . . . . .	1189
29.10.2. Фотопроводимость . . . . .	1191
29.10.3. Люминесценция. . . . .	1192
29.10.4. Оптоэлектронные свойства. . . . .	1193
<b>Глава 30. Таблицы к разделу «Квантовая физика» . . . . .</b>	<b>1195</b>
Обозначения, принятые в разделе «Квантовая физика». . . . .	1195
30.1. Потенциалы ионизации. . . . .	1202

30.2. Атомные и ионные радиусы элементов . . . . .	1209
30.3. Электронная эмиссия . . . . .	1212
30.4. Рентгеновское излучение . . . . .	1216
30.5. Ядерные реакции . . . . .	1216
30.6. Взаимодействие излучения и материи . . . . .	1218
30.7. Эффект Холла . . . . .	1219
30.8. Сверхпроводники . . . . .	1220
30.9. Полупроводники . . . . .	1222
30.9.1. Термические, магнитные и электрические свойства полупроводников . . . . .	1222

## Часть VI. Приложение

<b>Глава 31. Измерения и погрешности измерений . . . . .</b>	<b>1225</b>
31.1. Описание измерений . . . . .	1225
31.1.1. Величины и единицы измерения СИ . . . . .	1225
31.2. Вычисление погрешностей и статистическая обработка результатов измерений . . . . .	1229
31.2.1. Виды погрешностей . . . . .	1229
31.2.1.1. Результат измерения . . . . .	1229
31.2.1.2. Погрешность измерения . . . . .	1229
31.2.1.3. Расчет погрешности при косвенном измерении. . . . .	1231
31.2.2. Среднее значение ряда измерений . . . . .	1232
31.2.3. Рассеяние . . . . .	1234
31.2.4. Корреляция . . . . .	1235
31.2.5. Аппроксимация, регрессия . . . . .	1236
31.2.6. Статистические распределения . . . . .	1236
31.2.6.1. Особые виды дискретных распределений . . . . .	1239
31.2.6.2. Особые виды непрерывных распределений . . . . .	1240
31.2.7. Надежность . . . . .	1242
<b>Глава 32. Векторное исчисление. . . . .</b>	<b>1245</b>
32.1. Векторы и скаляры . . . . .	1245
32.2. Умножение вектора на скаляр . . . . .	1246
32.3. Сложение и вычитание векторов . . . . .	1247
32.4. Умножение векторов . . . . .	1248
<b>Глава 33. Элементы дифференциального и интегрального исчисления. . . . .</b>	<b>1251</b>
33.1. Элементы дифференциального исчисления . . . . .	1251
33.1.1. Правила дифференцирования . . . . .	1251
33.2. Интегральное исчисление . . . . .	1252
33.2.1. Правила интегрирования . . . . .	1253
33.3. Производные и интегралы элементарных функций . . . . .	1254
<b>Глава 34. Таблицы к разделу «Международная система единиц» . . . . .</b>	<b>1255</b>