

**М. А. Зеликман**

# **ФИЗИКА ДЛЯ ИНЖЕНЕРОВ**

**КЛАССИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА.  
СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ.  
МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ.  
МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА.  
ГИДРОДИНАМИКА**

**М. А. Зеликман**

# **Физика для инженеров**

**КЛАССИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА.  
СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ.  
МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ.  
МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА.  
ГИДРОДИНАМИКА**

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. Классическая механика. Специальная теория относительности. Механические колебания. Молекулярная физика и термодинамика. Гидродинамика : учебное пособие / М. А. Зеликман. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2025. – 156 с. : ил., табл.  
ISBN 978-5-9729-2284-0

Изложены основные теоретические понятия и формулы курса общей физики для технических вузов по темам «Классическая механика», «Специальная теория относительности», «Механические колебания», «Термодинамика и молекулярная физика», «Гидродинамика». Большое внимание уделено физическому смыслу изучаемых явлений, рассматриваются примеры типичных задач. 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 978-5-9729-2284-0

© Зеликман М. А., 2025

© СПбПУ, 2025

© Издательство «Инфра-Инженерия», 2025

© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2025

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	3
Векторы и их свойства.....	6
<b>ГЛАВА 1. КИНЕМАТИКА.....</b>	<b>10</b>
§1.1. Скорость.....	10
§1.2. Ускорение.....	11
§1.3. Равномерное прямолинейное движение.....	13
§1.4. Равноускоренное движение.....	14
§1.5. Кинематика вращательного движения.....	16
<b>ГЛАВА 2. ДИНАМИКА.....</b>	<b>18</b>
§2.1. Законы Ньютона.....	18
§2.2. Силы в природе.....	20
<b>ГЛАВА 3. ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ.....</b>	<b>24</b>
§3.1. Закон сохранения импульса.....	24
§3.2. Кинетическая энергия и механическая работа.....	26
§3.3. Потенциальное поле сил.....	27
§3.4. Потенциальная энергия во внешнем поле сил.....	28
§3.5. Потенциальная энергия взаимодействия.....	29
§3.6. Закон сохранения механической энергии.....	31
§3.7. Закон сохранения момента импульса.....	32
<b>ГЛАВА 4. НЕИНЕРЦИАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОТСЧЕТА.....</b>	<b>35</b>
§4.1. Силы инерции.....	35
§4.2. Центробежная сила инерции.....	36
§4.3. Сила Кориолиса.....	37
<b>ГЛАВА 5. МЕХАНИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА.....</b>	<b>40</b>
§5.1. Движение твердого тела.....	40
§5.2. Движение центра масс (центра инерции).....	43
§5.3. Вращение тела вокруг неподвижной оси.....	43
§5.4. Момент импульса произвольно движущегося тела.....	46
§5.5. Момент инерции.....	47
§5.6. Кинетическая энергия тела, вращающегося вокруг неподвижной оси.....	48
§5.7. Кинетическая энергия тела при плоском движении.....	50

§5.8. Применение законов динамики твердого тела.....	51
§5.9. Решение задачи о скатывании цилиндра (2 способа).....	52
§5.10. Решение задачи о катушке на льду .....	54
§5.11. Закон всемирного тяготения .....	55
§5.12. Космические скорости.....	56
<b>ГЛАВА 6. РЕЛЯТИВИСТСКАЯ МЕХАНИКА .....</b>	<b>58</b>
§6.1. Специальная теория относительности (СТО) .....	58
§6.2. Преобразования Лоренца .....	60
§6.3. Следствия из преобразований Лоренца .....	61
§6.4. Парадокс близнецов .....	64
§6.5. Интервал.....	65
§6.6. Преобразования Лоренца и сложение скоростей.....	66
§6.7. Релятивистское выражение для импульса.....	67
§6.8. Второй закон Ньютона в СТО .....	68
§6.9. Релятивистское выражение для энергии .....	69
§6.10. Связь массы и энергии.....	70
§6.11. Частицы с нулевой массой .....	71
<b>ГЛАВА 7. МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ.....</b>	<b>72</b>
§7.1. Общие положения .....	72
§7.2. Малые колебания .....	72
§7.3. Гармонические колебания.....	73
§7.4. Маятник.....	74
§7.5. Биения.....	75
§7.6. Затухающие колебания.....	76
§7.7. Вынужденные колебания .....	77
§7.8. Параметрический резонанс .....	78
§7.9. Автоколебания.....	78
<b>ГЛАВА 8. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА.....</b>	<b>80</b>
§8.1. Статическая физика и термодинамика.....	80
§8.2. Давление.....	80
§8.3. Распределение давления в покоящихся жидкости и газе .....	81
§8.4. Закон Архимеда.....	82
§8.5. Масса и размер молекулы .....	83
§8.6. Равновесные состояния и обратимые процессы .....	84
§8.7. Внутренняя энергия .....	85
§8.8. Первое начало термодинамики .....	85
§8.9. Работа, совершаемая газом .....	86

§8.10. Уравнение состояния идеального газа.....	86
§8.11. Внутренняя энергия и теплоемкость идеального газа .....	88
§8.12. Уравнение адиабаты .....	89
§8.13. Политропические процессы .....	89
§8.14. Работа, совершаемая идеальным газом, при различных процессах.....	90
§8.15. Ван-дер-Ваальсовский газ .....	90
§8.16. Барометрическая формула .....	92
<b>ГЛАВА 9. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА.....</b>	<b>93</b>
§9.1. Некоторые сведения из теории вероятностей .....	93
§9.2. Число ударов молекул о стенку.....	94
§9.3. Основное уравнение МКТ.....	96
§9.4. Средняя энергия молекул .....	97
§9.5. Распределение Максвелла .....	99
§9.6. Экспериментальная проверка закона распределения Максвелла. Опыты Штерна и Ламмерта.....	103
§9.7. Распределение Больцмана .....	105
§9.8. Макро- и микросостояния. Статический вес.....	106
§9.9. Энтропия .....	109
§9.10. Основные законы термодинамики. Тепловые машины.....	110
§9.11. Теоремы Карно .....	112
§9.12. КПД цикла Карно .....	113
§9.13. Неравенство Клаузиуса. Термодинамическая энтропия.....	113
§9.14. Фазовые равновесия и превращения.....	116
§9.15. Испарение и конденсация.....	116
§9.16. Равновесие жидкости и пара.....	117
§9.17. Критическое состояние.....	118
§9.18. Пересыщенный пар и перегретая жидкость .....	118
§9.19. Кипение .....	119
§9.20. Уравнение Клапейрона – Клаузиуса.....	120
§9.21. Тройная точка. Диаграмма состояния.....	121
<b>ГЛАВА 10. ФИЗИЧЕСКАЯ КИНЕТИКА.....</b>	<b>122</b>
§10.1. Явления переноса в термодинамически неравновесных системах .....	122
§10.2. Средняя длина свободного пробега в газе.....	124
§10.3. Вероятности различных длин свободного пробега .....	125
§10.4. Вязкость газов.....	126

§10.5. Теплопроводность газов.....	127
§10.6. Диффузия в газах.....	128
<b>ГЛАВА 11. ТВЕРДЫЕ ТЕЛА.....</b>	<b>129</b>
§11.1. Кристаллические тела.....	129
§11.2. Физические типы кристаллических решеток.....	130
§11.3. Теплоемкость кристаллов.....	131
<b>ГЛАВА 12. ЖИДКОЕ СОСТОЯНИЕ.....</b>	<b>133</b>
§12.1. Строение жидкостей.....	133
§12.2. Поверхностное натяжение.....	134
§12.3. Давление под изогнутой поверхностью жидкости.....	135
§12.4. Явления на границе жидкости и твердого тела.....	135
§12.5. Капиллярные явления.....	136
<b>ГЛАВА 13. ГИДРОДИНАМИКА.....</b>	<b>138</b>
§13.1. Линии и трубки тока. Неразрывность струи.....	138
§13.2. Уравнение Бернулли.....	139
§13.3. Ламинарное и турбулентное течение.....	142
§13.4. Движение тел в жидкостях и газах. Сила сопротивления среды.....	143
§13.5. Подъемная сила.....	146
§13.6. Эффект Магнуса.....	147
§13.7. Поток несжимаемой жидкости в цилиндрической трубе. Формула Пуазейля.....	149