

И.И. Ташлыкова-Бушкевич

Физика

*Утверждено
Министерством образования
Республики Беларусь
в качестве учебника
для студентов учреждений
высшего образования
по техническим специальностям*

В двух частях

Часть 1

Механика. Молекулярная
физика и термодинамика.
Электричество и магнетизм



Минск
«Вышэйшая школа»
2013

УДК 53(075.8)

ББК 22.3я73

T25

Рецензенты: кафедра теоретической физики и астрономии учреждения образования «Брестский государственный университет им. А.С. Пушкина» (доктор физико-математических наук, профессор *В.А. Плетюхов*); доцент кафедры физики учреждения образования «Белорусский национальный технический университет» кандидат физико-математических наук *Н.П. Юркевич*

Все права на данное издание защищены. Воспроизведение всей книги или любой ее части не может быть осуществлено без разрешения издательства.

Ташлыкова-Бушкевич, И. И.

T25 Физика : учебник. В 2 ч. Ч. 1. Механика. Молекулярная физика и термодинамика. Электричество и магнетизм / И. И. Ташлыкова-Бушкевич. — Минск : Вышэйшая школа, 2013. — 303 с. : ил.

ISBN 978-985-06-2324-9.

В части 1 рассмотрены нерелятивистская (ньютоновская) и релятивистская механика, включая колебательные и волновые процессы, а также молекулярная физика и термодинамика, электричество и магнетизм.

Содержание учебника соответствует современному уровню развития физики. Материал изложен в максимально доступной и наглядной форме.

В зависимости от тактических задач обучения учебник может быть использован для самостоятельной работы студентов, на аудиторных занятиях под руководством преподавателя, а также для заочной и дистанционной форм обучения.

Для студентов учреждений высшего образования по техническим специальностям.

УДК 53(075.8)

ББК 22.3я73

ISBN 978-985-06-2324-9 (ч. 1)

ISBN 978-985-06-2323-2

© Ташлыкова-Бушкевич И. И., 2013

© Оформление. УП «Издательство “Вышэйшая школа”», 2013

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящая книга является первой частью учебника «Физика. В двух частях» и адресована студентам технических специальностей вузов, а также всем, кто изучает курс общей физики в течение одного – трех семестров, включая студентов заочной и дистанционной форм обучения. Содержание учебника соответствует программе курса физики для технических специальностей вузов.

Цель книги состоит в следующем:

- обеспечить теоретическую подготовку студентов в области физики для ориентации в потоке современной научной и технической информации и использования знаний по физике в технике;

- в наиболее компактной форме дать такой объем теоретического материала, который необходим для понимания сути рассматриваемых физических явлений.

Актуальность учебника обусловлена, во-первых, существующим дефицитом учебных пособий по физике, согласованных с действующими учебными программами для специальностей инженерно-технического профиля вузов, а во-вторых, важностью обеспечения учебного процесса пособиями, отражающими современный уровень развития физики.

При подготовке издания были поставлены следующие задачи:

- дать возможность студентам самостоятельно работать над курсом, в том числе при подготовке к практическим и лабораторным занятиям;

- позволить лектору дополнять материал, читаемый на лекциях, наглядными примерами, приложениями физических законов в разных областях науки и техники, а также решениями классических задач для объяснения и иллюстрации изучаемых теоретических положений;

- достичь максимально высокого качества представления сложно конспектируемых учебных материалов, например графиков, иллюстраций и схем.

В первой части учебника изложены нерелятивистская (ньютоновская) и релятивистская механика, включая колебательные и волновые процессы, а также молекулярная физика и термодинамика, электричество и магнетизм. Во второй части рассматриваются оптика, квантовая физика, строение и физические свойства вещества. В работу включены оригинальные результаты научных исследований, выполненных автором в рамках проектов Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований, а также совместно с учеными России, Германии, Италии, Великобритании и Японии в области физики конденсированного состояния,

физики водородного материаловедения и физики взаимодействия заряженных частиц с поверхностью кристаллов.

Отличительная особенность данного пособия — краткая и доступная форма изложения материала, в том числе физической сути изучаемых явлений, что помогает быстро овладеть основами курса общей физики. Каждый раздел структурирован в соответствии с наиболее важными вопросами и проблемами и содержит список литературы для углубленного знакомства с темами.

Все объяснения даются максимально просто. Усвоению физических формул и моделей способствуют многочисленные примеры и иллюстрации. В оформлении материала используется выделение формулировок законов, принципов, формул и терминов с помощью различных типографских средств, что облегчает восприятие и запоминание информации. Подробный предметный указатель позволяет легко ориентироваться в книге.

Пособие базируется на материале лекций, которые читает автор студентам Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. Автор выражает признательность рецензентам пособия.

Автор

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ПРИНЯТЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ	5
Обозначения и названия основных единиц физических величин	6
ВВЕДЕНИЕ	7
РАЗДЕЛ 1. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕХАНИКИ	9
Тема 1. Физика как фундаментальная наука	9
1.1. Предмет физики. Важнейшие этапы развития физики	9
Тема 2. Элементы кинематики материальной точки и твердого тела	10
2.1. Материальная точка. Абсолютно твердое тело	10
2.2. Система отсчета. Скалярные и векторные величины. Некоторые операции над векторами	11
2.3. Кинематика точки. Путь. Перемещение	13
2.4. Скорость и ускорение. Вычисление пройденного пути	14
2.5. Тангенциальное и нормальное ускорения	17
2.6. Кинематика твердого тела	18
2.7. Вращение твердого тела вокруг неподвижной оси	19
2.8. Угловые скорость и ускорение	20
2.9. Связь между угловыми и линейными скоростями и ускорениями	22
Тема 3. Элементы динамики материальной точки	23
3.1. Границы применимости ньютоновской механики. Первый закон Ньютона. Инерциальные системы отсчета. Масса и импульс. Силы внутренние и внешние	23
3.2. Второй закон Ньютона как уравнение движения	25
3.3. Третий закон Ньютона	26
3.4. Принцип относительности Галилея. Преобразования Галилея	27
3.5. Закон всемирного тяготения. Масса инертная и гравитационная	29
3.6. Гравитационное поле и его характеристика	30
3.7. Сила тяжести и вес	31
3.8. Упругие силы. Закон Гука. Сухое и жидкое трение	32
Тема 4. Законы сохранения	34
4.1. Замкнутая система. Сохраняющиеся величины. Связь законов сохранения со свойствами пространства и времени	34
4.2. Импульс силы	35
4.3. Закон сохранения импульса	36
4.4. Центр масс. Уравнение движения центра масс. Система центра масс	37

4.5. Работа и мощность силы	39
4.6. Кинетическая энергия материальной точки и закон ее изменения. Консервативные и диссипативные силы	40
4.7. Потенциальная энергия частицы в поле. Энергия упругой деформации. Связь между потенциальной энергией и силой поля	42
4.8. Полная механическая энергия частицы и закон ее сохранения. Механическая энергия системы. Законы ее сохранения	44
4.9. Примеры применения законов сохранения импульса и механической энергии	47
4.10. Космические скорости	50
4.11. Моменты импульса частицы относительно точки и оси. Момент силы. Пара сил	52
4.12. Момент импульса системы и закон его изменения. Закон сохранения момента импульса	56
Тема 5. Механика твердого тела	59
5.1. Момент импульса тела, вращающегося относительно неподвижной оси. Момент инерции тела относительно оси. Теорема Штейнера	59
5.2. Уравнение динамики твердого тела, вращающегося вокруг неподвижной оси	63
5.3. Кинетическая энергия твердого тела, вращающегося вокруг фиксированной оси. Работа внешних сил при вращении тела (ось вращения неподвижна)	64
5.4. Плоское движение твердого тела. Уравнение динамики плоского движения. Кинетическая энергия твердого тела при плоском движении	65
5.5. Тензор инерции твердого тела и главные оси инерции	67
Тема 6. Неинерциальные системы отсчета	69
6.1. Уравнение движения в неинерциальных системах отсчета, движущихся поступательно	69
6.2. Вращающиеся неинерциальные системы отсчета. Центробежная сила инерции и сила Кориолиса (без вывода)	72
6.3. Принцип эквивалентности Эйнштейна	74
6.4. Работа внешних сил при вращении твердого тела	75
6.5. Гироскопы. Гироскопический эффект	76
6.6. Прецессия и нутация гироскопа	78
Тема 7. Колебательные процессы	80
7.1. Гармонические колебания	80
7.2. Уравнение гармонических колебаний без трения. Его решение	83
7.3. Гармонический осциллятор. Пружинный, физический и математический маятник (малые колебания)	84
7.4. Энергия гармонических колебаний	88
7.5. Уравнение затухающих колебаний и его решение. Коэффициент затухания	90
7.6. Логарифмический декремент затухания. Добротность	92
7.7. Уравнение вынужденных колебаний и его решение. Векторная диаграмма	93
7.8. Резонанс. Резонансные кривые. Параметрический резонанс. Автоколебания	96
Тема 8. Волновые процессы	98
8.1. Распространение волн в упругой среде. Продольные и поперечные волны. Длина и скорость волн	98

8.2. Плоские и сферические волны. Волновое уравнение	101
8.3. Интерференция волн. Плоские стоячие волны	103
8.4. Энергия упругой волны. Поток и плотность потока энергии. Вектор Умова	105
Тема 9. Специальная теория относительности	108
9.1. Опыт Майкельсона – Морли. Постулаты специальной теории относительности	108
9.2. Преобразования Лоренца	111
9.3. Одновременность и синхронизация часов. Собственное время частицы	114
9.4. Относительность длин и промежутков времени	116
9.5. Интервал между событиями. Его инвариантность	119
9.6. Причинность	122
9.7. Релятивистский закон преобразования скоростей	123
9.8. Релятивистский импульс. Уравнение движения релятивистской частицы	126
9.9. Взаимосвязь массы и энергии. Энергия покоя	128
<i>Литература</i>	<i>131</i>
РАЗДЕЛ 2. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА	132
Тема 10. Основные понятия статистической физики и термодинамики	132
10.1. Макроскопическая система и ее термодинамическое состояние. Статистический и термодинамический методы исследования	132
10.2. Физический смысл температуры	133
10.3. Уравнение состояния идеального газа	134
10.4. Средняя энергия молекулы. Уравнение молекулярно-кинетической теории для давления газа	139
10.5. Внутренняя энергия идеального газа	141
10.6. Закон равнораспределения энергии	142
10.7. Теплоемкость идеального газа	143
Тема 11. Начала термодинамики	145
11.1. Первое начало термодинамики	145
11.2. Изопроцессы. Уравнение адиабаты	148
11.3. Вероятность и флуктуации. Смысл статистического описания: малость относительной флуктуации	151
11.4. Распределение Максвелла. Средняя, средняя квадратичная и наиболее вероятная скорости молекул	154
11.5. Распределение молекул во внешнем поле. Распределение Больцмана. Распределение Максвелла — Больцмана	156
11.6. Второе начало термодинамики. КПД теплового двигателя. Обратимые и необратимые процессы	159
11.7. Термодинамический цикл. Энтропия. Неравенство Клаузиуса. Закон возрастания энтропии	161
11.8. Статистический смысл энтропии. Энтропия и необратимость	163
11.9. Идеальная тепловая машина и ее КПД. Цикл Карно	165
11.10. Реальные газы. Уравнение Ван-дер-Ваальса	169
<i>Литература</i>	<i>170</i>
	301

РАЗДЕЛ 3. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ	172
Тема 12. Электростатическое поле в вакууме	172
12.1. Закон сохранения электрического заряда. Электрическое поле. Закон Кулона	172
12.2. Напряженность \vec{E} электростатического поля. Силовые линии. Принцип суперпозиции полей	175
12.3. Теорема Гаусса для электростатического поля. Поток и дивергенция вектора \vec{E}	178
12.4. Применение теоремы Гаусса к расчету напряженности электростатического поля	182
12.5. Теорема о циркуляции вектора \vec{E} . Потенциал. Потенциал поля точечного заряда	183
12.6. Связь потенциала и напряженности поля. Потенциал поля системы зарядов	186
12.7. Электрический диполь. Момент сил, действующий на диполь. Энергия диполя в поле	189
12.8. Проводники в электрическом поле	192
12.9. Поле внутри заряженного проводника и у его поверхности. Распределение заряда в проводнике	194
12.10. Емкость уединенного проводника	196
12.11. Взаимная емкость двух проводников. Конденсаторы	197
12.12. Электростатическое поле системы зарядов на большом расстоянии	199
Тема 13. Электростатическое поле в диэлектрике	201
13.1. Диэлектрики в электростатическом поле	201
13.2. Поляризованность. Диэлектрическая восприимчивость. Диэлектрическая проницаемость	203
13.3. Вектор \vec{D} (электрическое смещение). Теорема Гаусса для вектора \vec{D}	207
13.4. Поле в диэлектрике. Условия на границе двух диэлектриков	209
13.5. Энергия электрического поля. Электрическая энергия системы зарядов. Энергия уединенного проводника. Энергия конденсатора. Плотность энергии	213
Тема 14. Постоянный электрический ток	218
14.1. Сила и плотность тока. Уравнение непрерывности	218
14.2. Закон Ома для однородного проводника. Закон Ома в дифференциальной форме	221
14.3. Сторонние силы. ЭДС	222
14.4. Обобщенный закон Ома в дифференциальной форме. Закон Ома для неоднородного участка цепи	226
14.5. Закон Джоуля – Ленца	229
Тема 15. Магнитное поле в вакууме	231
15.1. Магнитная индукция \vec{B} . Магнитное поле равномерно движущегося заряда. Принцип суперпозиции полей	231
15.2. Закон Био – Савара – Лапласа и его применение к расчету магнитного поля прямого и кругового токов	235
15.3. Теорема Гаусса для вектора \vec{B} . Векторный потенциал магнитостатического поля	238
15.4. Теорема о циркуляции вектора \vec{B}	240
15.5. Применение теоремы о циркуляции вектора \vec{B} к расчету полей. Поле соленоида	241

15.6. Сила Ампера	243
15.7. Магнитный момент контура с током. Сила, действующая на контур с током. Работа при перемещении контура с током	245
Тема 16. Магнитное поле в веществе	248
16.1. Намагниченность. Токи намагничивания	248
16.2. Циркуляция намагниченности. Вектор \vec{H} (напряженность магнитного поля)	249
16.3. Теорема о циркуляции вектора \vec{H}	250
16.4. Ферромагнетизм	253
Тема 17. Явление электромагнитной индукции	255
17.1. опыты Фарадея. Правило Ленца	255
17.2. Закон электромагнитной индукции. Полный магнитный поток (потокосцепление). Токи Фуко	256
17.3. Явление самоиндукции. Индуктивность. ЭДС самоиндукции. Индуктивность соленоида	259
17.4. Ток при замыкании и размыкании цепи	261
17.5. Явление взаимной индукции	262
17.6. Энергия контура с током. Энергия магнитного поля. Плотность энергии магнитного поля	263
Тема 18. Электромагнитные колебания	266
18.1. Квазистационарные токи. Свободные колебания в контуре без активного сопротивления	266
18.2. Свободные затухающие электрические колебания	269
18.3. Вынужденные электрические колебания	271
Тема 19. Переменное электромагнитное поле в вакууме. Уравнения Максвелла	274
19.1. Вихревое электрическое поле. Ток смещения	274
19.2. Уравнения Максвелла. Относительность электрического и магнитного полей. Переменное электромагнитное поле	277
Тема 20. Электромагнитные волны	281
20.1. Волновое уравнение для электромагнитной волны. Основные свойства электромагнитной волны: скорость, поперечность, связь между \vec{E} и \vec{H}	281
20.2. опыты Герца. Излучение диполя Герца	283
20.3. Плотность энергии электромагнитной волны. Вектор Пойнтинга. Опыт Лебедева	284
<i>Литература</i>	287
ПРИЛОЖЕНИЕ	288
1. Греческий алфавит	288
2. Некоторые физические константы	288
ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ	290
	303

Учебное издание
Ташлыкова-Бушкевич Ия Игоревна

ФИЗИКА

В двух частях

Часть 1

**Механика. Молекулярная физика и термодинамика.
Электричество и магнетизм**

Учебник

Редактор *Е.В. Савицкая*
Художественный редактор *Т.В. Шабунько*
Технический редактор *Н.А. Лебедевич*
Корректоры *В.И. Аверкина, Н.Г. Баранова*
Компьютерная верстка *А.Н. Бабенковой*

Подписано в печать 27.11.2013. Формат 60×84/16. Бумага офсетная.
Гарнитура «NewtonС». Офсетная печать. Усл. печ. л. 17,67.

Уч.-изд. л. 16,5. Тираж 400 экз. Заказ 2179.

Республиканское унитарное предприятие «Издательство “Вышэйшая школа”».
ЛИ № 02330/0494062 от 03.02.2009. Пр. Победителей, 11, 220048, Минск.
e-mail: market@vshph.com <http://vshph.com>

Открытое акционерное общество «Типография “Победа”».
ЛП № 02330/429 от 28.01.2013. Ул. Тавляя, 11, 222310, Молодечно.