

В.А. Яковенко Г.А. Заборовский
С.В. Яковенко

ОБЩАЯ ФИЗИКА

Механика

Утверждено
Министерством образования Республики Беларусь
в качестве учебника
для студентов учреждений высшего образования
по педагогическим специальностям
физико-математического профиля

Под общей редакцией
В.А. Яковенко



Минск
«Вышэйшая школа»
2015

УДК 531/534(075.8)
ББК 22.2я73
Я 47

Рецензенты: кафедра теоретической физики УО «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы»; доцент кафедры физики УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» кандидат физико-математических наук *А. В. Березин*

В оформлении переплета использована фотография маятника Фуко, установленного в Белорусском государственном педагогическом университете имени Максима Танка.

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

Яковенко, В. А.

Я 47 Общая физика. Механика : учебник / В. А. Яковенко, Г. А. Заборовский, С. В. Яковенко ; под. общ. ред. В. А. Яковенко. — Минск : Вышэйшая школа, 2015. — 383 с. : ил.

ISBN 978-985-06-2641-7.

Учебник создан на базе лекций, в течение ряда лет читаемых в Белорусском государственном педагогическом университете имени Максима Танка. Особое внимание уделено выяснению физического смысла и содержания основных понятий и законов механики, развитию у студентов физического мышления, формированию умения ставить и решать конкретные задачи.

Для студентов учреждений высшего образования по педагогическим специальностям физико-математического профиля. Будет полезен преподавателям средних специальных и общеобразовательных учреждений.

УДК 531/534(075.8)
ББК 22.2я73

ISBN 978-985-06-2641-7

© Яковенко В.А., Заборовский Г.А.,
Яковенко С.В., 2015
© Оформление. УП «Издательство
«Вышэйшая школа»», 2015

ПРЕДИСЛОВИЕ

Необходимость издания данного учебника обусловлена следующими обстоятельствами. В 2013 г. принят новый Образовательный Стандарт Республики Беларусь по специальностям 1-02 05 02 «Физика и информатика» и 1-02 05 04 «Физика и техническое творчество» с четырехлетним сроком обучения (вместо существовавшего ранее пятилетнего). В соответствии с этим произошли определенные изменения в программе курса «Общая физика». Особенно существенно сокращена программа по теоретической физике.

В итоге для достижения необходимого, хотя в значительной степени все же не совсем оптимального уровня знаний по физике будущего преподавателя, что вызвано дефицитом учебного времени, единственный путь – это развитие форм и совершенствование управляемой самостоятельной работы студентов (УСРС). Отметим, что эффективность такой формы учебной деятельности возможна лишь при определенных организационных и методических предпосылках.

Вследствие сказанного выше при организации учебного процесса, а также в структуре курса «Механика» серьезное внимание должно уделяться вопросам УСРС. Для реализации этой задачи в качестве приложения к учебнику разработан компьютерный вариант контроля знаний студентов, который состоит из девяти коллоквиумов, включающих все темы программы курса.

Как известно, основные особенности учебного процесса при обучении педагогическим специальностям – обеспечение осмысленного овладения студентами основами наук, развитие у них творческих познавательных способностей, установление прочных связей обучения с практическими потребностями учебного процесса современной общеобразовательной школы.

Вместе с тем следует констатировать, что в последнее время резко падает интерес учащихся средней общеобразовательной школы к изучению физики и математики. Это обстоятельство подтверждает анализ школьной подготовки по данным предметам студентов физико-математических и технических специальностей учреждений высшего образования Республики Беларусь, а также результатов централизованного тестирования. Так, серьезную тревогу вызывает тот факт, что примерно

40% выпускников общеобразовательных школ в 2014 г. не смогли преодолеть по этим предметам установленный минимальный уровень, который составлял всего 15 баллов из 100. Кроме того, отметим, что по дополнительному набору поступили абитуриенты с еще более низким баллом.

В процессе изучения общей физики у студентов — будущих преподавателей — должно сформироваться представление о физике как о науке, имеющей экспериментальную основу, так и о фундаментальной науке, цель которой состоит в формулировке общих законов природы, объяснении конкретных явлений на основе этих законов, предсказании новых явлений. Они должны ознакомиться с историей важнейших физических открытий, с историей возникновения, становления теорий, идей и понятий, узнать о вкладе выдающихся отечественных и зарубежных ученых в развитие физики. Очень важно привить студентам умение самостоятельно пополнять свои знания, ориентироваться в стремительном потоке научной информации.

В связи с этим исключительно большое значение для будущего преподавателя физики имеет формирование навыков самостоятельного овладения знаниями и их практического применения, поэтому многие вопросы курса предлагаются для самостоятельного изучения с использованием созданного на физико-математическом факультете Белорусского государственного педагогического университета имени Максима Танка учебно-методического комплекса «Общая физика». При этом не ставится цели охватить все стороны предмета или заменить другие формы работы. Подбор заданий направлен на формирование базовых умений и навыков путем их применения в разных ситуациях, а также на развитие активности и самостоятельности студентов.

Материал учебника распределен между авторами следующим образом: введение, § 2.7–2.9, гл. 5, 7–9, список рекомендуемой литературы написал профессор В.А. Яковенко; гл. 1, § 2.1–2.6, гл. 3, 6 — доцент Г.А. Заборовский, гл. 4, 10, 11 и предметный указатель — доцент С.В. Яковенко.

Авторы выражают искреннюю благодарность коллективу кафедры теоретической физики Гродненского государственного университета имени Янки Купалы (заведующий кафедрой кандидат технических наук, доцент А.В. Никитин) и доценту кафедры физики Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники кандидату

физико-математических наук А.В. Березину, взявшим на себя труд по рецензированию рукописи. Их замечания учтены при окончательной доработке рукописи и во многом способствовали улучшению ее качества. Авторы признательны также О.А. Бордович, оказавшей большую помощь в графическом оформлении и общей подготовке рукописи.

Свой труд авторы посвящают сорокалетию (1974–2014 гг.) физического факультета Белорусского государственного педагогического университета имени Максима Танка.

Все отзывы, критические замечания и пожелания просьба направлять по адресу: издательство «Вышэйшая школа», пр. Победителей, 11, 220048, Минск.

Авторы

ВВЕДЕНИЕ

Предметом физики является изучение самых простых и вместе с тем наиболее общих закономерностей природы, строения и свойств материи, законов взаимодействия и движения материальных тел. Науки, которые изучают разные виды движения материи, составляют систему естествознания. Физика является в значительной степени фундаментом всех естественных наук. Так, она объясняет природу периодичности свойств химических элементов и механизм возникновения межатомных и межмолекулярных сил. В основе всей современной электроники лежат физические закономерности взаимодействия электрических зарядов и электромагнитных полей.

Слово «физика» (*tà physiká*, от *phýsis* — природа) в переводе с греческого языка означает «наука о природе». Первоначально эта наука была единой. По мере накопления сведений об окружающем мире и их научного обобщения из общей науки о природе выделились отдельные науки, в том числе и физика.

Весь опыт естествознания и современной науки доказывает, что мир материален. Что это означает? Материя и движение — основные понятия естествознания. Под *материей* понимают объективную реальность, которая существует независимо от человеческого сознания и отражается им. Известны два вида материи: *вещество* и *поле*. К первому виду принадлежат атомы, молекулы и все состоящие из них тела. Второй вид материи образуют электромагнитное, гравитационное и другие поля. Разные виды материи могут превращаться друг в друга, например электрон и позитрон (которые представляют собой вещество) — в фотоны (т.е. в электромагнитное поле). Возможен и обратный процесс.

Материя вечно и непрерывно развивается, при этом она находится в постоянном движении. Под *движением* в широком смысле слова понимают все изменения материи — от простого перемещения до сложнейших процессов мышления. Некоторые изменения происходят очень медленно, поэтому становятся заметными через большой интервал времени. Так изменяется мир галактик, звезд. Время, за которое на Земле меняются очертания гор, материков и океанов, несравнимо с продолжительностью человеческой жизни. Другие изменения происходят значительно быстрее, их можно обнаружить,

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Введение	6
1. Кинематика материальной точки	10
1.1. Механическое движение. Перемещение. Траектория	10
1.2. Скорость	15
1.3. Ускорение	19
1.4. Законы равномерного и равноускоренного движения	24
1.5. Движение материальной точки по окружности	32
<i>Вопросы и задания для самостоятельной работы</i>	<i>37</i>
2. Динамика материальной точки	39
2.1. Взаимодействие тел. Сила	39
2.2. Фундаментальные взаимодействия	41
2.3. Первый закон Ньютона. Инерция	44
2.4. Второй закон Ньютона. Масса тела	46
2.5. Импульс. Общая формулировка второго закона динамики	49
2.6. Третий закон Ньютона	53
<i>Вопросы и задания для самостоятельной работы</i>	<i>54</i>
2.7. Единицы измерения и размерности физических величин	56
2.8. Международная система единиц	59
2.9. Эталоны основных единиц СИ в механике	63
<i>Вопросы и задания для самостоятельной работы</i>	<i>65</i>
3. Динамика механических систем	67
3.1. Импульс механической системы. Центр масс	67
3.2. Уравнение движения системы. Закон сохранения импульса	70
3.3. Движение тела переменной массы	74
3.4. Движение ракет. Формула Циолковского	77
<i>Вопросы и задания для самостоятельной работы</i>	<i>79</i>
4. Работа и энергия	81
4.1. Работа силы. Мощность	81
4.2. Кинетическая энергия	84

4.3. Работа силы тяжести. Потенциальная энергия	87
4.4. Закон сохранения механической энергии	89
4.5. Применение законов сохранения импульса и энергии при анализе удара	92
<i>Вопросы и задания для самостоятельной работы</i>	<i>98</i>
5. Принцип относительности в механике	101
5.1. Инерциальные системы отсчета. Принцип относительности Галилея	101
5.2. Силы инерции при ускоренном поступательном движении системы отсчета	106
5.3. Силы инерции, действующие на тело во вращающейся системе отсчета	110
5.4. Движение тела во вращающейся системе отсчета. Сила Кориолиса	116
5.5. Влияние вращения Земли на движение тел. Маятник Фуко	122
5.6. Границы применимости классической механики	126
<i>Вопросы и задания для самостоятельной работы</i>	<i>131</i>
6. Механика твердого тела	135
6.1. Поступательное движение абсолютно твердого тела	135
6.2. Вращательное движение	136
6.3. Момент силы. Пара сил	139
6.4. Уравнение динамики вращательного движения тела	144
6.5. Момент импульса. Уравнение моментов	148
6.6. Закон сохранения момента импульса	151
6.7. Вычисление моментов инерции тел	153
6.8. Теорема Штейнера	156
6.9. Кинетическая энергия вращающегося твердого тела	158
6.10. Свободные оси	161
6.11. Гироскоп. Гироскопический эффект и его применение	165
6.12. Условия равновесия твердого тела. Виды равновесия	169
<i>Вопросы и задания для самостоятельной работы</i>	<i>171</i>
7. Силы в механике	173
7.1. Всемирное тяготение	173
7.2. Поле тяготения	177
7.3. Инертная и гравитационная масса	181
7.4. Небесная механика. Законы Кеплера	182

7.5. Движение тел в гравитационном поле. Космические скорости	185
7.6. Невесомость и перегрузки	190
7.7. Основные этапы в области освоения космоса	193
7.8. Роль белорусских космонавтов, науки и техники Республики Беларусь в освоении и исследовании космического пространства	196
7.9. Упругие силы. Закон Гука	198
7.10. Связь между деформацией и напряжением	203
7.11. Энергия упругой деформации	206
7.12. Силы трения. Внешнее и внутреннее трение	209
7.13. Трение качения	214
7.14. О природе сил трения. Роль трения в природе и технике	216
<i>Вопросы и задания для самостоятельной работы</i>	<i>220</i>
8. Механика жидкостей и газов	224
8.1. Механические свойства жидкостей и газов	224
8.2. Равновесие жидкости и газа. Закон Паскаля. Закон Архимеда	226
8.3. Движение идеальной жидкости. Уравнение Бернулли	232
8.4. Применение уравнения Бернулли. Закон сохранения импульса текущей жидкости	237
8.5. Движение вязкой жидкости	243
8.6. Движение тел в жидкостях и газах	247
8.7. Подъемная сила крыла самолета. Эффект Магнуса	251
<i>Вопросы и задания для самостоятельной работы</i>	<i>257</i>
9. Колебательное движение	260
9.1. Гармонические колебания	260
9.2. Характеристики гармонического колебательного движения	262
9.3. Колебания систем под действием упругих и квазиупругих сил	266
9.4. Энергия колебательного движения	272
9.5. Сложение колебаний одинакового направления	275
9.6. Сложение взаимно перпендикулярных колебаний	280
9.7. Затухающие колебания	285
9.8. Вынужденные колебания	289
9.9. Резонанс. Добротность колебательной системы	293
9.10. Колебания в нелинейных системах	295
9.11. Колебания связанных систем	299
<i>Вопросы и задания для самостоятельной работы</i>	<i>303</i>

10. Волновое движение	305
10.1. Образование и распространение волн в упругой среде	305
10.2. Уравнение плоской бегущей волны	309
10.3. Скорость распространения волн	313
10.4. Фазовая и групповая скорости волн	316
10.5. Энергия волнового движения	318
10.6. Принципы Гюйгенса и Гюйгенса — Френеля. Закон отражения и преломления волн. Дифракция	322
10.7. Интерференция волн	326
10.8. Стоячие волны. Уравнение стоячей волны	329
10.9. Кинетическая и потенциальная энергия стоячей волны	331
<i>Вопросы и задания для самостоятельной работы</i>	334
11. Акустика	336
11.1. Волновая природа звука	336
11.2. Источники звука	338
11.3. Скорость звука	342
11.4. Распространение звука	345
11.5. Архитектурная акустика	349
11.6. Акустический резонанс. Анализ звуков	350
11.7. Характеристики звукового поля. Объективные характе- ристики звука	352
11.8. Субъективные характеристики звука	357
11.9. Отражение и поглощение звуковых волн	359
11.10. Эффект Доплера	362
11.11. Применение ультразвука	365
11.12. Инфразвук	369
<i>Вопросы и задания для самостоятельной работы</i>	371
Предметный указатель	373
Рекомендуемая литература	379

Учебное издание

Яковенко Владимир Андреевич
Заборовский Георгий Александрович
Яковенко Сергей Владимирович

ОБЩАЯ ФИЗИКА

МЕХАНИКА

Учебник

Редактор *Е.В. Малышева*
Художественный редактор *В.А. Ярошевич*
Технический редактор *Н.А. Лебедевич*
Корректор *Т.К. Хваль*
Компьютерная верстка *И.В. Войцехович, А.Г. Пархоменко*

Подписано в печать 10.11.2015. Формат 84×108/32. Бумага офсетная.

Гарнитура «NewtonС». Офсетная печать.

Усл. печ. л. 20,16. Уч.-изд. л. 21,1. Тираж 500 экз. Заказ 459.

Республиканское унитарное предприятие

«Издательство “Вышэйшая школа”».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/3 от 08.07.2013.

Пр. Победителей, 11, 220048, Минск.

e-mail: market@vshph.com <http://vshph.com>

Открытое акционерное общество «Полиграфкомбинат им. Я. Коласа».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 2/3 от 04.10.2013.

Ул. Корженевского, 20, 220024, Минск.