

ББК 22.2я73  
К77

*Рецензенты:*

доктор физико-математических наук, профессор *Ю. Ф. Головнёв*  
(Тульский государственный педагогический  
университет им. Л. Н. Толстого);  
доктор технических наук, профессор *В. В. Жигунов*  
(Тульский государственный университет)

**Краткий** курс механики: Учеб. пособие / Ю. В. Бобылёв,  
К77 А. И. Грибков, В. А. Панин, Р. В. Романов.— Тула: Изд-во Тул. гос.  
пед. ун-та им. Л. Н. Толстого, 2017.— 111 с.

ISBN 978-5-9500201-8-6

Данное пособие содержит теоретический материал по разделу общей физики «Механика», обобщённый на базе курса лекций, которые много лет читаются авторами для студентов факультета математики, физики и информатики.

Издание предназначено студентам естественнонаучных специальностей университетов, для которых физика является одним из профилирующих предметов, а также студентам других специальностей и направлений.

**ББК 22.2я73**

ISBN 978-5-9500201-8-6

© Ю. В. Бобылёв, А. И. Грибков,  
В. А. Панин, Р. В. Романов, 2017  
© ТГПУ им. Л. Н. Толстого, 2017

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В 2014 году авторами издан весьма полный и подробный курс лекций по механике [1]. По своему объёму и содержанию этот учебник позволяет организовать как аудиторную, так и самостоятельную работу студентов и помочь в подготовке к практическим и лабораторным занятиям. Он содержит подробные описания классических экспериментов, астрономические сведения, цитаты из трудов творцов физики, объяснение принципов работы различных механизмов и многие другие интересные сведения. При этом изложение основного материала проводится с должной математической строгостью, уровень которой тем не менее обеспечивает доступность для понимания его студентами с различной математической подготовкой. Часть же материала, который по своему уровню может быть отнесён скорее к некоторым разделам теоретической механики, сознательно была вынесена нами в приложения. При изучении общей физики эти главы могут быть востребованы наиболее подготовленными студентами для дополнительного самообразования, а при изучении теоретической механики, когда эти сведения станут обязательными, ссылка на них также будет полезной, поскольку позволит повторить соответствующие экспериментальные факты из общей физики.

Опыт использования полного курса лекций при чтении механики студентам факультета математики, физики и информатики в течение нескольких лет с момента его выхода оказался весьма удачным. Этот опыт позволяет нам сделать вывод о том, что данный курс в принципе может удовлетворить все потребности как обучающихся, так и преподавателя при проведении занятий в рамках действующих учебных программ по курсу «Механика», читаемому в настоящее время студентам, обучающимся на физико-математических направлениях в педагогических вузах.

Вместе с тем, как показал тот же опыт преподавания механики студентам непрофильных специальностей, когда весьма значительная часть полного курса оказывается невостребованной, разумно было бы разработать более упрощённую и краткую его версию, содержащую лишь необходимые сведения по изучаемому предмету. Воплощением в жизнь этой идеи и является настоящее пособие.

Нужно отметить, что, несмотря на достаточно сжатый стиль изложения, представленный в данном пособии материал содержит основные разделы курса «Механика» и по своему содержанию соответствует минимуму, указанному в Государственном образовательном стандарте высшего образования по направлению «Педагогическое образование».

Несмотря на то что прежде всего данное пособие ориентировано на студентов, обучающихся по направлениям и специальностям, в которых физика не является основным предметом, надеемся, что оно будет полезно

и студентам профильных специальностей, которые могут использовать его, например, в качестве справочного пособия, а также для повторения материала перед курсовым и государственным экзаменами.

Ещё одной причиной, по которой данное пособие будет полезно студентам профильных специальностей, является следующая. Некоторые темы, несмотря на краткость изложения основного материала по механике, рассмотрены сравнительно подробно. Прежде всего это касается основ специальной теории относительности и более конкретно – её экспериментальных оснований. Это сделано намеренно и преследует своей целью сэкономить время на старших курсах при чтении электродинамики. Изучение данной дисциплины начинается со специальной теории относительности, но на подробное описание основных экспериментов этой теории вследствие постоянного сокращения часов в современных учебных планах времени практически не остаётся. Одной из возможностей решения данной проблемы является вынесение части материала на самостоятельное изучение и предварительное знакомство с ним в курсе общей физики.

Характеризуя в целом настоящее пособие, хотим отметить, что оно сохранило все положительные черты полного курса, а именно содержит большое количество иллюстраций и графических представлений изучаемых зависимостей, что значительно повышает наглядность и способствует более глубокому пониманию изучаемой дисциплины. Весь материал достаточно хорошо структурирован, а в конце приведен намеренно избыточный список литературы.

Пособие может быть использовано учителями школ и школьниками, изучающими физику углубленно.

Будем крайне признательны за указанные устно или письменно фактические или полиграфические ошибки.

*Авторы*

## ВВЕДЕНИЕ

### Предмет, основные разделы и границы применимости классической механики. Пространство и время, их свойства. Основные понятия и модели механики

#### 1. Предмет и основные разделы классической механики

*Механика* – наука, изучающая механические формы движения материи, то есть движения, сводящиеся к перемещениям тел в пространстве с течением времени.

Движение в широком смысле – это изменение вообще. Под механическим движением понимают перемещение тел в пространстве с течением времени. Механическое движение присутствует в любой другой форме. Механическое движение вообще неуничтожимо.

Любое тело состоит из атомов и молекул, движение которых правильно описывается законами квантовой механики. Классическая механика рассматривает тело как сплошное. Это не противоречит дискретности вещества. Все характеристики атомов и молекул можно усреднить по физически бесконечно-малому объёму. В нём должно содержаться большое число атомов и молекул и вместе с тем размеры этого элемента должны быть значительно меньше по сравнению с характерной длиной изменения усредняемых величин.

Механика, основанная на принципах Галилея и Ньютона, называется *классической* или *ньютоновской*.

По характеру изучаемых задач классическая механика включает в себя следующие разделы: *кинматику*, *статику* и *динамику*.

*Кинематика* – изучает движение материальных тел, не останавливаясь на причинах, вызывающих эти движения. По своему содержанию она является геометрией движения материальных объектов, в которой независимой переменной является время.

*Статика* – наука о равновесии материальных тел. Она изучает условия, при которых тела или системы тел остаются в состоянии покоя по отношению к определённой системе координат.

*Динамика* – изучает движение различных механических систем в зависимости от причин, вызывающих это движение и влияющих на него. Причины эти в механике называются силами.

#### 2. Границы применимости

1. Относительно малые скорости материальных объектов, то есть  $\frac{v}{c} \ll 1$ ,

где  $c$  – скорость света в вакууме.

2. Классическая механика правильно описывает движение макроскопических тел, состоящих из очень большого числа атомов и молекул. Движение отдельных атомов и молекул описывается законами квантовой

механики. Данное условие можно выразить в виде следующего неравенства:  $\frac{h}{s} \ll 1$ , где  $h$  – постоянная Планка, а  $S = \int_{t_0}^t L dt$ , где  $L = T - \Pi$  – функция Лагранжа,  $T$  – кинетическая энергия,  $\Pi$  – потенциальная энергия, – так называемое действие механической системы.

Нужно, отметить, что в ряде частных случаев такой подход к разграничению областей применения классической и квантовой механики может нарушаться. Например, микрочастица, движущаяся с очень большой скоростью, описывается законами классической физики. Примером же, когда квантовыми свойствами обладают макроскопические системы как целое, являются квантовые жидкости. Квантовые эффекты проявляются в макроскопическом объёме жидкости при очень низких температурах. При этом квантовая жидкость ведёт себя в целом как единая квантовая система.

3. Классическая механика приблизительно правильно описывает движение тел вдали от массивных тел, что соответствует выполнению неравенства

$\frac{r_g}{L} \ll 1$ , где  $r_g = 2 \frac{\gamma M}{c^2}$  – гравитационный радиус тела, а  $L$  – расстояние от

массивного тела. Следует отметить, что массивное тело имеет геометрический радиус, близкий к гравитационному. В солнечной системе нет массивных тел. Геометрический радиус Солнца  $7 \cdot 10^8$  км, а гравитационный радиус всего лишь 3 км. Для Земли  $r_g \approx 0,9$  см.

### 3. Пространство и время, их свойства

В механике Ньютона используются следующие представления о пространстве и времени.

а) *Пространство считается однородным, изотропным и безграничным.* Утверждается, что расположение и движение вещества не изменяют свойств пространства. В специальной теории относительности было установлено, что пространственные промежутки не одинаковы в различных инерциальных системах отсчёта, движущихся друг относительно друга, что пространство и время связаны в единое целое, мир, в котором мы живем, – 4-хмерный. В 1915–1916 гг. Эйнштейн сформулировал общую теорию относительности. Её законы утверждают, что свойства пространства-времени определяются расположением и движением материи. Тяготение порождает кривизну пространства-времени, и эта кривизна может быть очень значительной, радикально изменяя свойства пространства-времени.

б) *Время считается однородным и бесконечным,* промежутки времени одинаковы во всех системах отсчёта. Поэтому в классической механике можно было бы иметь одни часы. Строго же говоря, о чём будет подробно рассказано при изучении специальной теории относительности, нужно иметь бесконечное количество часов, расположенных в каждой точке пространства, причём ход этих часов должен быть синхронизован.

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие .....	3
Введение. Предмет, основные разделы и границы применимости классической механики. Пространство и время, их свойства. Основные понятия и модели механики .....	5
<b>Кинематика</b> .....	8
<i>Лекция № 1.</i> Способы задания движения точки. Скорость точки и её нахождение при различных способах задания движения точки .....	8
<i>Лекция № 2.</i> Ускорение точки и его нахождение при различных способах задания движения точки. Частные случаи движения точки .....	14
<i>Лекция № 3.</i> Кинематика абсолютно твёрдого тела. Относительность движения .....	19
<b>Динамика</b> .....	25
<i>Лекция № 4.</i> Основные понятия динамики. Аксиомы механики.....	25
<i>Лекция № 5.</i> Силы в природе и в механике .....	30
<i>Лекция № 6.</i> Работа и энергия .....	37
<i>Лекция № 7.</i> Динамика механической системы.....	44
<i>Лекция № 8.</i> Динамика абсолютно твёрдого тела .....	55
<i>Лекция № 9.</i> Движение в неинерциальных системах отсчёта. Движение тела с переменной массой.....	61
<i>Лекция № 10.</i> Механические колебания и волны .....	68
<i>Лекция № 11.</i> Гидростатика и гидродинамика .....	84
<i>Лекция № 12.</i> Элементы специальной теории относительности .....	95
Основные формулы механики.....	106
Литература.....	110