



ИНЖЕНЕРЫ  
БУДУЩЕГО



# ФИЗИКА



# 7

Часть 1

УГЛУБЛЁННЫЙ  
УРОВЕНЬ



# ФИЗИКА

ИНЖЕНЕРЫ БУДУЩЕГО

7 КЛАСС

Углублённый уровень

Учебник

В двух частях

Часть 1

Под редакцией Ю. А. Панебратцева

Допущено Министерством просвещения  
Российской Федерации

МОСКВА  
«ПРОСВЕЩЕНИЕ»  
2024

УДК 373.167.1:53+53(075.3)  
ББК 22.3я721.6  
Ф50

Учебник и разработанное в комплекте с ним учебное пособие допущены к использованию при реализации основных образовательных программ начального общего, основного общего, среднего общего образования в соответствии с Приказом Министерства просвещения Российской Федерации № 858 от 21.09.2022 г. (в ред. Приказа Минпросвещения России № 119 от 21.02.2024 г.)

Авторы: В. В. Белага, Н. И. Воронцова, И. А. Ломаченков,  
Ю. А. Панебратцев

**Физика : инженеры будущего : 7-й класс : углублённый уровень : учебник : в 2 частях / В. В. Белага, Н. И. Воронцова, И. А. Ломаченков, Ю. А. Панебратцев ; под ред. Ю. А. Панебратцева. — Москва : Просвещение, 2024.**

ISBN 978-5-09-112666-2.

Ч. 1. — 160 с. : ил.

ISBN 978-5-09-112667-9.

Общая концепция учебно-методического комплекса, который включает печатные издания и электронные ресурсы, в том числе сайт поддержки УМК, разработана научными сотрудниками Объединённого института ядерных исследований (ОИЯИ), преподавателями Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» и специалистами Госкорпорации «Росатом».

Учебники и пособия написаны коллективом авторов под руководством доктора физико-математических наук, профессора Ю. А. Панебратцева в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта основного общего образования, утверждённого Приказом Министерства просвещения Российской Федерации № 287 от 31.05.2021 г., и Федеральной рабочей программой по физике углублённого уровня от 18.05.2023 г.

Учебник для 7 класса начинает предметную линию «Инженеры будущего» по физике, предназначенную для организации предпрофильной подготовки учащихся. Материал учебника выстроен в логике деятельностного подхода. Система заданий направлена на формирование важных компетенций, которые позволяют: научно объяснять природные и технологические явления; применять методы естественно-научного исследования и предлагать научные способы решения проблем; интерпретировать данные и использовать научные доказательства, представленные в различных формах. Помимо предметного содержания, в курсе заложено развитие представлений о сферах профессиональной деятельности, связанных с современным естествознанием.

УДК 373.167.1:53+53(075.3)  
ББК 22.3я721.6

ISBN 978-5-09-112667-9 (ч. 1)  
ISBN 978-5-09-112666-2

© АО «Издательство «Просвещение», 2024  
© Художественное оформление.  
АО «Издательство «Просвещение», 2024  
Все права защищены

## ВВЕДЕНИЕ

Слово «инженер» происходит от латинского *ingenium*, что означает «врождённая способность», «дарование», «ум», «изобретательность». Во все эпохи развития человечества инженерная деятельность была чрезвычайно важна, именно она обеспечивала соответствующее состояние техники и технологии, уклад жизни и способствовала техническому прогрессу. Сегодня профессия инженера является одной из наиболее востребованных, ведь с увеличением скорости изменений, происходящих практически во всех областях техники и технологий, растёт потребность в высококвалифицированных специалистах, способных не только производить и совершенствовать существующие технические устройства, но и создавать новые.

Курс физики является одним из ключевых курсов при подготовке специалистов, планирующих заниматься инженерной деятельностью. Физика изучает общие закономерности явлений природы, её понятия и законы лежат в основе всего естествознания.

Физика — это экспериментальная наука. Её законы основываются на фактах, установленных при помощи опытов. Открывая физические законы, человек смог применять их для своих целей: создал мощнейшие машины и механизмы, научился управлять внутриядерной энергией, вышел в космическое пространство. Работа технических устройств, с которыми человек сталкивается дома, на работе и на улице, без которых сегодня немислима жизнь человечества, основана на правильном применении законов природы, изучаемых физикой.

Физика — точная наука и изучает количественные закономерности явлений, которые записываются в виде формул, поэтому физика говорит на языке математики.

Современная физика — это бурно развивающаяся наука, охватывающая многие области знаний человечества.

Материал учебника разделён на тематические главы, которые состоят из параграфов. В начале каждой главы приводится высказывание одного из великих учёных, которое отражает суть содержания темы.

В тексте каждого параграфа важные для осмысления и запоминания термины и понятия выделены жирным шрифтом или *курсивом*.

Каждый параграф начинается с вводных рубрик «Новое в уроке» и «Повторим изученное». Рубрика «Новое в уроке» познакомит вас с основными вопросами, которые изучаются в параграфе. Рубрика «Повторим изученное» подскажет, что необходимо вспомнить из ранее изученного материала, для того чтобы усвоить новый.

Текст, содержащийся в рубрике «Важно!», отражает ключевые аспекты изучаемого материала, а также наиболее важные формулы, термины и физические законы.

Информация о традиционном эксперименте, на основе которого строится объяснение материала параграфа, выделена в рубрике «Исследование».

В рубрике «Это интересно» изучаемый материал иллюстрируется интересными историческими фактами и сведениями, примерами технических устройств и явлениями повседневной жизни.



В рубрике «Применяем в профессии» изучаемый материал дополняется примерами, которые могут быть использованы в инженерных профессиях.



Рубрика «Сделай сам!» поможет вам самостоятельно провести эксперименты по тематике изучаемого материала.



Увидеть взаимосвязь физики с другими учебными дисциплинами, которые вы изучаете в школе, поможет рубрика «Межпредметные связи».

Эта рубрика является подсказкой, которая нацелит вас на выполнение следующих заданий:

- приведите дополнительные примеры использования понятий, моделей и законов физики в других областях знаний;
- подготовьте сообщение для своих одноклассников о связях между науками.

Рубрика «Физика в жизни» рассказывает о применении знаний, полученных в параграфе, в окружающем нас мире.

В конце каждого параграфа приведены «Выводы» к параграфу и «Ключевые слова» — основные понятия, новые термины, которые нужно запомнить и по которым можно осуществить поиск дополнительной информации в Интернете.

Завершают параграф «Вопросы и задания», ответы на которые помогут вам закрепить изученный материал и проверить свои знания.

В каждой главе содержатся параграфы: «Решение задач», «Лабораторные и исследовательские работы», «Кейс». В параграфе «Решение задач» рассматриваются примеры решения физических задач и приводятся «Задачи для самостоятельного решения», которые помогают закрепить и лучше понять изученный материал. Параграф «Лабораторные и исследовательские работы» содержит обязательные лабораторные работы, которые выполняются в классе, и практические работы-исследования, предназначенные для самостоятельного выполнения в классе или дома. «Кейс» включает проектно-исследовательское задание, в ходе выполнения которого решаются интересные, полезные и связанные с реальной жизнью задачи.

Завершает каждую главу раздел «Подведём итоги», в котором приводятся основные выводы и идеи, содержащиеся в главе. Вопросы, содержащиеся в рубрике «Вопросы для обсуждения», носят проблемный характер и могут стать интересной темой для дискуссии. Интересные темы для сообщений в классе приведены в рубрике «Темы исследовательских и проектных работ».

Желаем вам успехов на пути получения новых знаний!



Математика



Геометрия



География



Биология/экология



Технология



Физкультура



Химия

# Глава 1

## ФИЗИКА И МИР, В КОТОРОМ МЫ ЖИВЁМ

И кто возьмёт на себя смелость поставить предел человеческому духу? Кто решится утверждать, что мы знаем всё, что может быть познано в мире?

*Г. Галилей*

Истина — это то, что выдерживает испытание опытом.

*А. Эйнштейн*

Наука не является и никогда не будет являться законченной книгой. Каждый важный успех приносит новые вопросы. Всякое развитие обнаруживает со временем всё новые и более глубокие трудности.

*А. Эйнштейн*



# § 1 ЧТО ИЗУЧАЕТ ФИЗИКА

## НОВОЕ В УРОКЕ

- Что изучает физика.
- Какие основные виды физических явлений встречаются в окружающем нас мире.

## ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Какие науки о природе вам известны?

Физика — это самая фундаментальная, самая всеобъемлющая из всех наук, изучающая закономерности окружающего нас мира. География изучает поверхность Земли, геология — её недра, биология — живые организмы, населяющие нашу планету. А что изучает физика?



**Михаил Васильевич Ломоносов**  
(1711—1765)



**Аристотель**  
(384—322 до н. э.)

**ФИЗИКА — НАУКА О ПРИРОДЕ.** Само слово «физика» происходит от греческого слова *physis*, означающего «природа». Первым это слово использовал в своих трудах один из величайших учёных древности Аристотель в IV в. до н. э. В русский язык это слово ввёл в XVIII в. основоположник российской науки Михаил Васильевич Ломоносов, когда издал в переводе с немецкого первый учебник физики.

В окружающем нас мире всё время происходят различные изменения, или *явления*. Кипение воды в чайнике, таяние мороженого, нагревание утюга, свечение лампочки, звучание радиоприёмника — всё это примеры физических явлений в неживой природе.

В живой природе тоже постоянно происходят физические явления. Светлячки светятся в темноте, вода поднимается по стеблю растения, внутри нас по сосудам течёт кровь, если рукой в темноте гладить kota, то можно увидеть электрические разряды, сопровождающиеся лёгким потрескиванием.

Физика как наука о природе позволяет понять причины явлений, учит их описывать, а в некоторых случаях предсказывать их или даже управлять ими.

**ФИЗИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ.** В природе происходят самые разнообразные явления, которые можно разделить на механические, тепловые, электромагнитные и световые. Их изучают различные разделы физики.

Движение планет, полёты самолётов и ракет, плавание судов и т. д. — всё это примеры механических явлений. Раздел физики, в котором они изучаются, называется «Механика».

Такие явления, как испарение воды, превращение её в лёд, плавление металлов, процессы физического выветривания горных пород и т. д., назы-

вают тепловыми. Они изучаются в разделах «Термодинамика» и «Молекулярная физика».

Электромагнитными называют явления, связанные с взаимодействием и движением электрически заряженных частиц, например молнии, полярные сияния, поведение стрелки компаса и т. д. Они изучаются в разделе «Электродинамика».

К световым относятся явления распространения, излучения и поглощения света. Солнечный свет, солнечный зайчик, радуга — примеры световых явлений. Они изучаются в разделах «Оптика» и «Квантовая физика».



Наряду с физическими явлениями в природе происходят и *химические явления*. Примерами могут быть горение различных веществ, гашение соды уксусной кислотой, сворачивание белков при варке мяса или яйца, гниение продуктов, коррозия металлов, в том числе ржавление железа, и др. При изучении химических явлений в основном анализируют *химические реакции*, в результате которых одни вещества превращаются в другие, имеющие новые свойства.

**СТРОЕНИЕ ВЕЩЕСТВА.** Почему светят Солнце и звёзды? Почему вода может быть жидкостью или твёрдым телом в виде кусочка льда? Почему даже при комнатной температуре металл ртуть является жидким, а чтобы расплавить железо, надо нагреть его до высокой температуры?

Для того чтобы ответить на подобные вопросы, физика изучает строение вещества. Изучив внутреннее строение тел, можно объяснить многие их свойства, а также создать новые вещества с нужными свойствами — прочные сплавы, жароупорные материалы, пластмассу, искусственные волокна.

**ДЛЯ ЧЕГО НУЖНА ФИЗИКА.** Знания о физических явлениях, накопленные человечеством, не устаревают с течением времени. Новые открытия в физике не отменяют подтверждённые опытом открытия, сделанные ранее, а только дополняют их, углубляют наши представления об окружающем мире. Именно физические открытия явились причиной технического прогресса человечества. Открытие законов механики позволило создать сложнейшие механизмы. Открытия в термодинамике позволили человечеству овладеть тепловой энергией. Понимание природы электромагнетизма

позволило использовать в практических целях электрический ток и заложило фундамент всей технической революции, преобразившей жизнь всего человечества. Такие привычные сегодня технические устройства, как мобильные телефоны, компьютеры, лазеры и многие другие, появились вследствие открытий в квантовой физике.

Задача курса физики состоит в том, чтобы познакомить вас с теми физическими явлениями, с которыми вы сталкиваетесь в жизни, которые лежат в основе действия многих технических устройств, используемых на производстве и в быту, и научить объяснять их.

Изучив данный курс, вы получите представление о многих важных законах физики, узнаете о принципах работы различных технических устройств, научитесь проводить интересные эксперименты и подготовитесь к дальнейшему более глубокому изучению физики, что необходимо любому современному человеку, выбравшему путь инженерного образования.



Примеры технических устройств

#### Выводы

- ! Физика — наука о природе, изучающая физические тела, явления и законы, которым они подчиняются.
- ! В природе происходят разнообразные физические явления, которые можно разделить на механические, тепловые, электромагнитные и световые.

#### Ключевые слова

Физика; физические явления; физические законы

#### Вопросы и задания

1. Что такое физика?
2. Какую роль играет физика в познании окружающих явлений?
3. Приведите примеры механических, световых, тепловых и электромагнитных физических явлений.
4. Вы часто видели, как светит электрическая лампочка, как работает микроволновая печь. Перечислите виды физических явлений, которые связаны с этими процессами.

### НОВОЕ В УРОКЕ

- Что такое физические термины.
- Что такое физическое тело, вещество и материя.
- Из чего состоит вещество.

### ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что изучает физика?

Когда человек появляется на свет, он воспринимает окружающий мир через ощущения. Постепенно в его сознании формируются образы различных предметов, которые его окружают. Позднее человек связывает данные образы со словами, обозначающими эти предметы. И только потом он начинает узнавать и использовать различные понятия.

**НАУЧНЫЕ ТЕРМИНЫ.** Обобщения разных предметов и явлений по определённым признакам принято называть понятиями. Ромашка, колокольчик, роза — это цветы. Цветок — это понятие. У разных людей с одним и тем же понятием могут быть связаны разные образы. Например, машина — это и игрушка, и автомобиль, и стиральная машина и т. д.

Особенностью языка науки является использование специальных слов, которые всеми понимаются одинаково. Их называют научными терминами. Термины — это слова или словосочетания, обозначающие определённые понятия какой-либо области науки, техники или искусства. Они необходимы для того, чтобы люди, использующие эти слова, точно понимали, что они обозначают. Например, понятие «сила» мы используем, говоря: сила воли, сила ветра и т. д. В физике используется термин «сила», обозначающий физическую величину, с которой вам ещё предстоит познакомиться.

**ФИЗИЧЕСКОЕ ТЕЛО.** Одной из главных целей науки является нахождение общих закономерностей, описывающих окружающий нас мир. Зная их, можно не только объяснять многие явления, но и делать прогнозы.

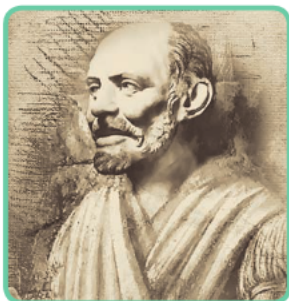
В физике любой из окружающих нас объектов (карандаш, каплю воды, целую планету) принято называть физическим телом или просто телом. Каждое из тел имеет собственную форму и объём, а также обладает набором своих индивидуальных свойств. Это может быть цвет, прозрачность, масса, электрический заряд. Мы знаем, что и подброшенный вверх камень, и подброшенный вверх мячик, и подброшенное вверх яблоко упадут в конце концов на землю. Использование термина «физическое тело» позволяет нам обобщить три этих явления и сформулировать общую закономерность: подброшенное вверх физическое тело упадёт на землю.

**ВЕЩЕСТВО.** Всё то, из чего состоят физические тела, называют веществом. Железо, стекло, пластилин, резина, воздух, вода — это различные виды вещества.

В течение жизни человек сталкивается с огромным числом разных веществ. Насколько их много в окружающем нас мире? Это число конечно или веществ бесконечное множество? Эти вопросы волновали человечество с самых древних времён.

**ЭТО ИНТЕРЕСНО**

Одно из наиболее распространённых представлений древности заключалось в том, что всё в мире состоит из четырёх элементов (стихий): воды, огня, воздуха и земли. Учёные рассуждали так: при горении дерева сначала поднимается дым (воздух), а затем возникает пламя (огонь). При этом на холодной поверхности, оказавшейся рядом с пламенем, образуется влага (вода), а после сгорания дерева образуется зола (земля). И потому основными элементами следует считать огонь, воздух, воду и землю.



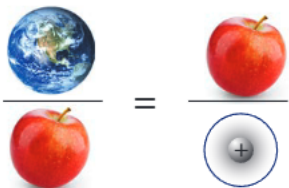
**Демокрит**  
(ок. 460—370 до н. э.)

**ВЕЩЕСТВО И АТОМЫ.** В V в. до н. э. древнегреческий философ Демокрит выдвинул гипотезу о строении вещества. Согласно легенде, он задался вопросом: что получится, если разрезать яблоко пополам, потом половинку разрезать ещё раз пополам и т. д.? Сможем ли мы резать яблоко до бесконечности или существует предел его деления, которым является мельчайшая частица?

Философ пришёл к выводу, что должен существовать предел деления. Самую маленькую частицу вещества, которую нельзя разделить на части, Демокрит назвал *атомом*. Слово «атом» в переводе с греческого означает «неделимый».

Сегодня достоверно известно, что вещества в окружающем нас мире состоят из атомов. Атомов различных видов всего около 100, но они могут объединяться, образуя множество разнообразных *молекул*, которые и являются мельчайшими частицами вещества.

Современная наука уже не считает атомы неделимыми, так как они сами состоят из более мелких составляющих — *электронов* и ядер, ядра — из *протонов* и *нейтронов*, а протоны и нейтроны, в свою очередь, — из *кварков* и связывающих их *глюонов*.



**ЭТО ИНТЕРЕСНО**

Ещё около 50 г. до н. э. была написана знаменитая поэма «О природе вещей», в которой её автор, Тит Лукреций Кар, изложил великие научные достижения Античности. Глубина и точность мыслей поэмы до сих пор поражают читателя.

*...Если не будет затем ничего наименьшего, будет*

*Из бесконечных частей состоять и мельчайшее тело:*

*У половины всегда найдётся своя половина,*

*И для деления нигде не окажется вовсе предела.*

*Чем отличишь ты тогда наименьшую часть от Вселенной?*

*Ровно, поверь мне, ничем. Потому что, хотя никакого*

*Нет у Вселенной конца, но ведь даже мельчайшие вещи*

*Из бесконечных частей состоять одинаково будут.*

(Перевод Ф. А. Петровского)

Атомы и молекулы настолько малы, что их невозможно увидеть невооружённым глазом. В зависимости от того, атомы какого вида и в каких соотношениях входят в состав молекулы вещества, это вещество обладает теми или иными свойствами.

Размеры атомов можно представить себе, приняв следующее сравнение. Если обычное яблоко увеличить до размеров Земли, то сами атомы станут размером с яблоко.

**МАТЕРИЯ.** Всё то, что существует во Вселенной независимо от нашего сознания, называют материей. Материя является более общим понятием, чем вещество. Материальны, т. е. действительно существуют в природе, растения, животные, планеты, различные предметы. Вещество — это один из видов материи. Примерами материи также являются свет, радиоволны, которые передают сигнал от радиостанции к радиоприёмнику, излучение в микроволновой печи и т. д.

Наблюдаемый нами материальный мир постоянно претерпевает те или иные изменения. Старые звёзды прекращают своё существование, и рождаются новые звёзды. Молекулы и атомы вещества находятся в непрерывном движении. Луна движется вокруг Земли, а сама Земля вращается вокруг Солнца. Всё развитие естествознания, и прежде всего физической науки, показало, что наиболее общим свойством, присущим всем материальным объектам, является движение. В этом смысле понятия материи и движения неразделимы.



Всё то, из чего состоят физические тела, называют веществом. Вещество состоит из атомов и молекул.



Материей называют всё то, что существует во Вселенной независимо от нашего сознания. Понятия материи и движения неразделимы.

#### ВЫВОДЫ

#### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

#### И ВОПРОСЫ ЗАДАНИЯ

Физическое тело; материя; вещество; атом; молекула

1. Какие новые физические термины вы узнали из этого урока?
2. Что называют веществом?
3. Из чего состоит вещество?
4. Приведите примеры физических тел, которые могут быть сделаны из стекла, резины, древесины, стали, пластмассы.
5. Назовите вещества, из которых состоят следующие тела: велосипедная камера, скрепка, карандаш, авторучка, оконная рама.
6. При помощи различных физических тел (нож, веник, зеркало и т. д.) можно решать самые разные практические задачи. Приведите пример, как эти задачи влияют на выбор вещества, из которого изготавливаются указанные тела.
7. Какое из двух понятий — материя или физическое тело — является более частным по отношению к другому (т. е. представляет собой только часть другого)? Какое понятие является более общим по отношению к другому?

## § 3 ПОЛУЧЕНИЕ НОВЫХ ЗНАНИЙ

### НОВОЕ В УРОКЕ

- Что такое наблюдение и опыт.
- В чём различие между наблюдением и опытом.
- Что такое гипотеза.
- Что такое измерительные приборы.
- Какую роль играют наблюдение и опыт в получении знаний об окружающем нас мире.

### ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

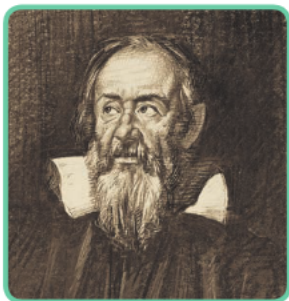
- Какие явления изучает физика?

Физика как современная наука берёт начало с трудов великого итальянского учёного Галилео Галилея. В отличие от своих предшественников, для которых критерием истины была строгая логика умозаключений, он опирался также на наблюдения и эксперимент.

**НАБЛЮДЕНИЕ И ОПЫТ.** Начальные знания об окружающем мире мы получаем из наблюдений за явлениями.

### НАБЛЮДЕНИЕ

Простые и доступные всем наблюдения за изменением состояния воды можно осуществить при её нагревании в открытом прозрачном сосуде. Видно, что по мере увеличения температуры усиливается и испарение воды. Иногда можно даже увидеть лёгкий туман над поверхностью воды, состоящий из мельчайших капелек воды. При дальнейшем нагревании мы заметим, что на дне и стенках сосуда появляются маленькие пузырьки. Это пузырьки воздуха, который всегда растворён в воде. При дальнейшем увеличении температуры пузырьки отрываются от дна и стенок сосуда и поднимаются вверх. Далее пузырьки, поднявшиеся на поверхность, лопаются, и пар выходит наружу. Возникает характерное бульканье — вода кипит.



Галилео Галилей  
(1564—1642)

Наблюдения являются важным этапом научного познания. Но сами по себе наблюдения не могли привести к построению физической картины мира, хотя и сыграли огромную роль, прежде всего в астрономии.

Накопив за время наблюдений определённые сведения о явлении, мы пытаемся выяснить, как это явление протекает и почему. В ходе таких размышлений рождаются различные предположения о сути наблюдаемого явления, которые называются гипотезами. Для того чтобы проверить гипотезу, ставят эксперименты, во время которых обычно производят измерения. *Эксперименты предполагают наличие цели, плана действий и специального оборудования.*

Выдвигая ту или иную гипотезу, мы с помощью эксперимента можем её либо подтвердить, либо опровергнуть. Таким образом, знание обычно рождается в результате следующей последовательности шагов:

**наблюдение ► гипотеза ► эксперимент ► вывод.**

ЭТО ИНТЕРЕСНО

Наблюдая за кораблями, которые исчезали за горизонтом, человек ещё в древности предполагал, что Земля имеет округлую форму. В IV в. до н. э. греческий философ Аристотель, наблюдая за тенью Земли при лунном затмении, утверждал, что Земля должна иметь форму шара. Опыт, подтвердивший данную гипотезу, был поставлен в середине XVI в. Это было первое кругосветное путешествие, которое осуществил португальский мореплаватель Фернан Магеллан. Космические снимки Земли ещё раз наглядно подтвердили правильность этой гипотезы.

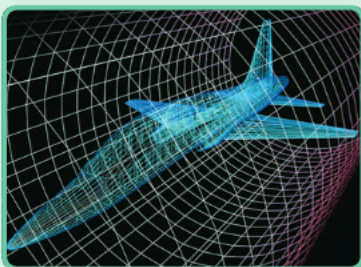
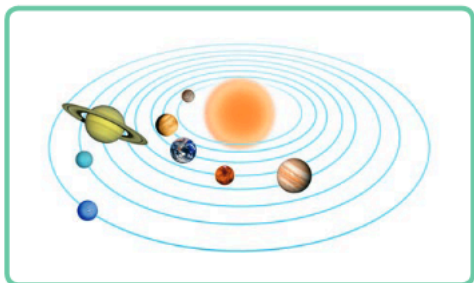


За падением тел люди наблюдают с начала своего существования. Одновременно возникли два вопроса: почему тела падают и от чего зависит скорость падения тел? Над этими вопросами размышляли ещё древнегреческие учёные. Аристотель выдвинул гипотезу о том, что падение тела происходит тем быстрее, чем тяжелее само тело. Галилео Галилей был не согласен с выводами Аристотеля и провёл опыты, пытаясь подтвердить или опровергнуть его гипотезу. По легенде, он бросал лёгкие и тяжёлые тела со знаменитой Пизанской башни и установил, что и тяжёлые, и лёгкие шары достигают земли почти одновременно. Небольшое различие во времени падения связано с сопротивлением воздуха. Таким образом, при помощи эксперимента Галилей опроверг гипотезу Аристотеля.

**ФИЗИЧЕСКИЙ ЗАКОН.** После проведения эксперимента и анализа результатов измерений делается вывод о свойствах изучаемого физического явления. Как правило, этот вывод записывают в виде математической формулы и называют физическим законом. Физические законы не только позволяют описать изучаемые явления, но и в ряде случаев дают возможность предсказать новые, ранее неизвестные явления. В любом случае, для того чтобы знания о физическом явлении стали законом, требуется экспериментальная проверка. Именно поэтому физику называют экспериментальной наукой.

Вместе с тем все физические законы имеют границы применимости. Например, законы, описывающие движение и взаимодействие окружающих нас тел, неприменимы для описания движения атомов и молекул, а также частиц, из которых состоят атомы и молекулы вещества.

**МОДЕЛЬ.** Для того чтобы понять и объяснить то или иное явление, люди часто прибегают к использованию аналогий. Они строят мысленный образ явления, используя известные им понятия, и пытаются выделить то главное, что характеризует это явление. То есть они строят модель изучаемого явления или процесса. **Физической моделью** называют упрощённую версию физической системы или процесса, сохраняющую их главные черты. Например, в процессе изучения строения вещества физики создавали различные модели молекул и атомов, постепенно углубляя своё понимание этих объектов. Также с течением времени менялись модели, описывающие нашу Землю и всю Вселенную.



В инженерной деятельности моделирование имеет широкое распространение. Например, при проектировании создают сначала макет здания, модель механизма или технического устройства, модель судна или самолёта. Модели имеют главные черты проектируемых объектов. Техническое моделирование, наряду с расчётами и экспертными оценками, является важным этапом при осуществлении того или иного инженерного проекта.

**ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ.** Для измерений, проводимых в ходе эксперимента, необходимы измерительные приборы. Некоторые из них достаточно простые. Это линейка, весы, мензурка. Но для более точных и сложных измерений используют сложные приборы, например различные приборы для измерения времени, скорости, давления воздуха.



Примените метод получения нового знания для следующей ситуации.

Интересно узнать, какая вода замерзает быстрее: с сахаром или без.

**ПОМОЩНИК**

Выдвинем гипотезу о том, в каком случае вода замёрзнет быстрее. Например, предположим, что время замерзания не будет зависеть от того, добавлен в воду сахар или нет.

Проверьте выдвинутую гипотезу. Возьмите 2 одинаковых стакана и налейте в них равное количество воды комнатной температуры. В один из стаканов добавьте 1 столовую ложку сахара и размешайте до полного растворения. Поставьте стаканы в морозильную камеру и через равные промежутки времени (например, 10—15 мин) проверяйте состояние воды в стаканах. Продолжайте наблюдение до тех пор, пока вода в обоих стаканах полностью не замёрзнет.

По результатам эксперимента сделайте вывод.

Вы можете применить рассмотренный метод получения нового знания для ещё какой-нибудь ситуации.

**!** Знание обычно рождается в результате следующей последовательности шагов:

**наблюдение ► гипотеза ► эксперимент ► вывод.**

**!** Вывод обычно записывается на языке математики и называется физическим законом.

**!** В ходе эксперимента проводятся измерения, для которых необходимы измерительные приборы.

**ВЫВОДЫ**

Наблюдение; гипотеза; опыт, эксперимент; физический закон; физическая модель; измерительный прибор

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА**

**И ВОПРОСЫ ЗАДАНИЯ**

1. Что является источником получения знаний об окружающем нас мире?
2. Чем отличается наблюдение от эксперимента?
3. Что такое гипотеза?
4. Для чего нужны измерительные приборы?
5. Предположительное значение температуры внутреннего слоя Земли на глубине 4500 км равно 5500 °С. Данное утверждение является научной гипотезой или экспериментальным фактом?
6. Ю. А. Гагарин 12 апреля 1961 г. облетел земной шар за время 1 ч 48 мин. Чем является его полёт: физическим измерением, научной гипотезой, экспериментальным фактом, теоретическим выводом?



- **Наблюдение** за кораблями, исчезающими за горизонтом.
- **Гипотеза:** Земля имеет округлую форму.
- **Эксперимент:** кругосветное путешествие Магеллана.
- **Вывод:** Земля круглая.



# § 4

## ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ. ЕДИНИЦЫ ФИЗИЧЕСКОЙ ВЕЛИЧИНЫ

### НОВОЕ В УРОКЕ

- Что такое физическая величина и её единицы.
- Что такое Международная система единиц (СИ).
- Как можно сравнивать физические величины.

### ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое физическое тело?
- Что такое физическое явление?
- Сколько сантиметров в одном метре?
- Сколько миллиметров в одном сантиметре?

Все физические тела или явления обладают набором определённых свойств или характеристик. Например, когда мы говорим о размерах тел, мы имеем в виду определённое свойство этих тел. А когда мы говорим, например, о длине, ширине и высоте тел, мы говорим об их конкретных характеристиках.

**ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ.** Для описания какого-либо свойства физического тела или явления служит физическая величина. Одна и та же физическая величина используется для характеристики одного и того же свойства различных физических явлений и тел. Например, мы можем говорить о длине шага, длине стола, длине доски. При этом значения вышперечисленных длин будут разными.

Каждая физическая величина обозначается буквой латинского или греческого алфавита. Например, длина обычно обозначается буквой  $l$ , объём — буквой  $V$ , время — буквой  $t$ , скорость — буквой  $v$ , угол — буквами  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\varphi$  и т. д.

**ЕДИНИЦЫ ФИЗИЧЕСКОЙ ВЕЛИЧИНЫ.** Говоря о значении физической величины, мы всегда должны учитывать, в каких единицах она выражена. Для каждой физической величины существуют свои единицы. Например, единицами длины могут быть *сантиметр*, *метр*, *километр*, единицами времени — *секунда*, *минута*, *час*, *сутки*, *год*.

Для того чтобы количественно описать физическую величину, необходимо знать её числовое значение и единицу физической величины. Говоря о том, что урок в школе длится 45 минут, мы описываем физическую величину *время*. Сочетание «45 минут» — это время, показывающее длительность урока, состоящее из числового значения 45 и единиц времени — минут. С использованием обозначения можно записать: продолжительность урока составляет  $t = 45$  мин.



Из курса математики вам хорошо известна физическая величина — объём тела. Единица объёма — кубический метр, или  $\text{м}^3$ . В повседневной жизни мы часто используем физическую величину, называемую температурой. Мы говорим о температуре тела, о температуре воздуха в помещении и на улице, о температуре воды. Привычными для нас в быту единицами температуры являются градусы Цельсия, или  $^{\circ}\text{C}$ .



Что же означает выражение «измерить физическую величину»?

**Измерение физической величины** — это сравнение её с эталоном. Уже более двух веков все стра-

ны мира стремятся использовать одинаковые эталоны для измерения основных физических величин. Для этого и была создана Международная система единиц (СИ). СИ была принята в 1960 г. решением Генеральной конференции по мерам и весам. В нашей стране интернациональная система единиц была введена в 1963 г.

Для того чтобы зафиксировать единицы длины и массы в СИ, были созданы их международные эталоны, которые хранятся во Франции, в городе Севр. Исторически метр, килограмм и секунда определялись следующим образом:

- метр — это одна сорок миллионная часть длины Парижского меридиана;
- килограмм — это масса кубика воды объёмом 1000 кубических сантиметров;
- секунда — это  $\frac{1}{86\,400}$  часть времени обращения Земли вокруг своей оси.

Однако во второй половине XX — начале XXI в. достижения физики позволили ввести более совершенные эталоны метра, килограмма и секунды. Так, в 1983 г. за эталон метра был принят путь, проходимый светом в пустоте за  $\frac{1}{299\,792\,458}$  долю секунды.

Единицы СИ

Единица длины	↔	Метр (м)
Единица времени	↔	Секунда (с)
Единица массы	↔	Килограмм (кг)

ЭТО ИНТЕРЕСНО

До принятия метрической системы (такой, как СИ) люди разных стран пользовались своими единицами. Например, для измерения длины на Руси использовали пядь, аршин, локоть, сажень. В Англии — дюйм, ярд, фут. Чаще всего эти размеры соответствовали размеру предметов, которые всегда были под рукой, а ещё чаще — размером, которые можно показать рукой.

ФИЗИКА В ЖИЗНИ

В некоторых странах люди до сих пор используют не метрические единицы длины, массы, объёма, а другие единицы измерения, которые там исторически сложились. Например, в США, Великобритании и ещё нескольких странах часто используется английская система мер, в которой длина измеряется в милях, дюймах, футах и ярдах. Во всём мире *миля* является одной из самых распространённых мер длины, которые используются для измерения расстояний и длин воздушных и сухопутных путей.

Покупая телевизор или монитор компьютера, мы можем увидеть в описании его технических характеристик размер диагонали, выраженный в *дюймах*. Так исторически сложилось. Нужно помнить, что *1 дюйм* (inch) равен 2,54 см (длина фаланги большого пальца). Массу в названных выше странах измеряют в унциях и фунтах, а температуру — в градусах Фаренгейта. А в Китае до сих пор в повседневной жизни используются незнакомые нам единицы длины: ли, инь, чжан и др., единицы массы: цинь, цань и пр.

**РАЗМЕРНОСТЬ ФИЗИЧЕСКОЙ ВЕЛИЧИНЫ.** Рассмотренные физические величины — расстояние, масса и время называются основными. Всего существует семь основных физических величин (с ними вы познакомитесь при изучении курса физики). Физические величины, которые могут быть получены из двух или более основных величин, называются производными физическими величинами.

Чтобы показать связь между различными физическими величинами, вводят понятие *размерности физической величины*. Размерность основных физических величин принято обозначать большими латинскими буквами в квадратных скобках. Например, размерности расстояния, массы и времени обозначаются следующим образом:  $[L]$ ,  $[M]$ ,  $[T]$ .

Для обозначения размерности произвольной физической величины используется её буквенное обозначение, взятое в квадратные скобки.

Покажем связь некоторых физических величин с основными физическими величинами с помощью размерности. Из математики вы знаете, что площадь измеряется в метрах квадратных ( $m^2$ ), поэтому размерность площади:

$$[S] = [L^2].$$

Аналогично — размерность объёма:

$$[V] = [L^3].$$

**КРАТНЫЕ И ДОЛЬНЫЕ ЕДИНИЦЫ.** Итак, эталоном длины служит метр. Но ведь существуют тела, обладающие совсем маленькими или очень большими размерами. Так, длина инфузории-туфельки, которая составляет примерно 0,0002 м, очень мала, а длина экватора Земли, составляющая 40 075 696 м, велика. Эти величины часто неудобно выражать в метрах, поэтому для таких целей используют единицы, которые могут быть меньше метра в 10, 100 и т. д. раз (их называют дольными) или больше метра в 10, 100 и т. д. раз (их называют кратными). Например, километр является кратной единицей для метра и равен 1000 м. При этом в названии «километр» появилась приставка «кило», которая и определяет, во сколько раз одна величина больше другой. Для того чтобы величину, выраженную в метрах, перевести в сантиметры, необходимо её значение умножить на 100. В этом случае число 100 называют множителем. В качестве примеров дольных единиц можно рассмотреть следующие: единица в тысячу раз меньше метра называется миллиметром (мм), в миллион раз меньше метра — микрометром (мкм) или кратко — микроном, в миллиард раз меньше метра — нанометром (нм).

Приставка	Название единицы, кратной или дольной метру (обозначение)	Множитель
милли	миллиметр (мм)	0,001
санти	сантиметр (см)	0,01
деци	дециметр (дм)	0,1
кило	километр (км)	1000

**СРАВНЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН.** Нельзя напрямую сравнивать две физические величины, выраженные в разных единицах. Например, расстояние между школой и домом одного ученика равно 1 км, а расстояние от школы до дома другого ученика — 1100 м. Как понять, кто живёт дальше от школы?

Чтобы сравнение было правильным, нужно сначала выразить значения величин в одинаковых единицах:

$$\begin{aligned} 1 \text{ км} &= 1000 \text{ м;} \\ 1000 \text{ м} &< 1100 \text{ м.} \end{aligned}$$

Однородные физические величины — это величины, которые имеют одинаковые размерности и один и тот же физический смысл. При этом всегда надо помнить, что нельзя сравнивать неоднородные величины, например такие, как масса и расстояние или расстояние и время. Такое сравнение не имеет никакого смысла.

! Для описания какого-либо свойства физического тела и явления служит физическая величина. Измерение физической величины — это сравнение её с эталоном.

! Для того чтобы зафиксировать основные единицы физических величин, была создана Международная система единиц (СИ).

! Нельзя сравнивать неоднородные физические величины или физические величины, выраженные в разных единицах.

## ВЫВОДЫ

Физическая величина; единица физической величины; СИ; кратные и дольные единицы; размерность физической величины

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

## И ВОПРОСЫ ЗАДАНИЯ

1. Является ли длина физической величиной? Поясните ответ.
2. Объясните, почему при записи тех или иных числовых значений физических величин необходимо указывать их единицы. Может ли быть информативной одна лишь запись числа без указания наименования единиц?
3. Является ли деревянная линейка длиной 1 м эталоном метра? Поясните свой ответ.
4. В каких случаях удобнее использовать кратные и дольные единицы?
5. В Древней Руси в качестве меры длины использовалась пядь, равная расстоянию между концами растянутых пальцев одной руки — большого и указательного. Могла ли такая единица длины быть точной? Объясните свой ответ.
6. Справедливо ли утверждение, что возраст Земли на два порядка превышает расстояние от Земли до Солнца? Если нет, объясните почему. Возраст Земли около 4 540 000 000 лет. Расстояние от Земли до Солнца равно 150 000 000 км.
7. Из курса математики вы знаете, что скорость рассчитывается как отношение пройденного пути ко времени. Определите размерность скорости.

# § 5 ИЗМЕРЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

## НОВОЕ В УРОКЕ

- Как можно измерить физическую величину.
- Что такое шкала измерительного прибора.

## ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое физическая величина и её единицы?
- Что такое Международная система единиц (СИ)?

Для измерения какой-либо физической величины нужен соответствующий измерительный прибор.



**НАЗНАЧЕНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ.** При выполнении измерений всегда нужно быть уверенным, что прибор, которым мы пользуемся, подходит для наших целей. Например, всем нам хорошо знакомы *термометры*, предназначенные для измерения температуры. При этом для измерения температуры в комнате мы пользуемся одним термометром, для измерения температуры тела — другим, для измерения температуры воды — третьим.

Если необходимо измерить физическую величину, то очень важно правильно выбрать способ её измерения.

## ФИЗИКА В ЖИЗНИ

При измерении температуры охлаждённой воды важно учитывать массу термометра в сравнении с массой воды. Если масса самого термометра будет примерно такой же или превышать массу воды, то результат измерения будет неправильным. В этом случае термометр изменяет температуру воды в сосуде и тем самым оказывает влияние на результаты измерения.

В качестве одного из самых древних измерительных приборов можно рассматривать обычные *часы*. Для измерения времени в разные времена люди использовали разнообразные конструкции часов. Это были солнечные, песочные, водяные часы. В наше время часы представляют собой более сложные и точные механизмы и бывают кварцевые, механические, электронные и пр.

*Весы*, подобно часам, являются одним из самых древних измерительных приборов. Возраст самых древних весов, согласно археологическим раскопкам, датируется 5-м тысячелетием до н. э.

## ФИЗИКА В ЖИЗНИ

В быту применяются различные виды весов: рычажные, пружинные и электронные. Они различаются между собой принципом действия. Кроме того, разные весы предназначены для измерения различных диапазонов масс. Так, например, невозможно измерить массу тела человека на небольших кухонных весах или массу одного яблока на весах, предназначенных для взвешивания человека.

**ИЗМЕРЕНИЕ ОБЪЁМА.** Для измерения объёма жидкости существуют специальные измерительные приборы: мензурки, измерительные цилиндры, мерные стаканы, мерные колбы и др.

При измерениях объёмов жидкости поверхность жидкости в мензурке или другом измерительном приборе должна быть горизонтальной, а положение уровня глаз наблюдателя должно находиться на одном уровне с плоскостью поверхности воды.



При помощи измерительного цилиндра можно определить не только объём жидкости, налитой в него, но и объём твёрдого тела.



**ПОМОЩНИК.** Для этого нужно наполнить измерительный цилиндр водой приблизительно на  $\frac{1}{2}$  или  $\frac{2}{3}$  его объёма. Это необходимо для того, чтобы полностью погрузить в воду выбранные тела и не допустить переливания воды через край цилиндра во время измерений. Сначала нужно измерить объём  $V_1$  жидкости, налитой в измерительный цилиндр. Затем привязать за нитку тело, объём которого необходимо определить, и, удерживая за нитку, аккуратно опустить его в воду до полного погружения. Затем измерить объём  $V_2$  жидкости с погружённым в неё телом. И наконец, определить объём погружённого тела:  $V_T = V_2 - V_1$ . Результаты измерений и вычислений объёмов можно выразить, например, в кубических сантиметрах (см<sup>3</sup>).



**ШКАЛА ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРИБОРА.** На шкалах измерительных приборов нанесены штрихи, некоторые из них подписаны определёнными значениями. Между соседними подписанными штрихами может находиться несколько неподписанных штрихов поменьше.

Деления на шкале могут располагаться по прямой линии (например, на линейке), по окружности (на циферблате часов) или по дуге (в барометре). Шкала измерительного прибора характеризуется *пределом измерения* — это минимальное или максимальное значение шкалы данного прибора.



**ВАЖНО**

Штрихи и подписанные значения физической величины на измерительном приборе образуют **шкалу** прибора. Промежуток между двумя соседними штрихами называется **делением шкалы**. Значение физической величины, соответствующее самому маленькому делению, называется **ценой деления** шкалы прибора.

## ФИЗИКА В ЖИЗНИ

Для того чтобы определить цену деления шкалы прибора, необходимо найти разность двух соседних значений физической величины, которые указаны на приборе, и разделить её на число делений между ними. Например, на школьной линейке подписаны штрихи с обозначениями «1 см» и «2 см». Между ними находятся 10 неподписанных делений. Следовательно, цена каждого деления линейки равна

$$\frac{2 \text{ см} - 1 \text{ см}}{10} = 0,1 \text{ см.}$$

**ЦИФРОВЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ.** Во второй половине XX в. развитие технологий привело к тому, что в качестве инструментов измерений всё чаще стали использоваться цифровые измерительные приборы. Сегодня цифровые измерительные приборы можно встретить повсюду. В быту мы используем цифровые термометры и весы, в промышленности цифровыми приборами оснащены станки и различные системы диагностики, цифровые приборы используются в автомобилях и самолётах. Всё больше цифровой аппаратуры используется в медицине.



Цифровые весы



Определите толщину нити с помощью линейки с ценой деления 1 мм.

**ПОМОЩНИК.** Плотно обмотайте нить вокруг линейки между штрихами, расстояние между которыми равно 0,5 см.

Посчитайте количество получившихся витков нити.

Рассчитайте толщину нити, разделив 0,5 см на количество полученных витков.

(Такой метод измерения малых величин называют **методом рядов.**)

**СВЯЗИ МЕЖДУ ФИЗИЧЕСКИМИ ВЕЛИЧИНАМИ.** Изучая окружающий нас мир, учёные стремятся понять, как одни физические величины влияют на другие, т. е. установить взаимосвязи (или отношения) между ними. Например, мы хотим ответить на вопрос, как зависит масса воды от её объёма или как зависит расстояние, пройденное пешеходом, от времени его движения. Для ответа на подобные вопросы необходимо найти количественные соотношения между физическими величинами, которые записываются в виде формул. А для проверки этих соотношений необходимо провести тщательные экспериментальные измерения.

Интересно, что в истории физики роль экспериментальных измерений и поиска соотношений между физическими величинами стала осознаваться в полной мере лишь в XVIII в.

**ПРАВИЛА РАБОТЫ С ЛАБОРАТОРНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ.** При выполнении лабораторных работ и использовании физического оборудования необходимо знать и соблюдать общие правила техники безопасности. Перечислим некоторые из них.

### ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ

- Нельзя приносить в класс еду и напитки.
- Перед выполнением каждой лабораторной работы внимательно изучите содержание и порядок её выполнения.
- Точно следуйте указаниям учителя. Будьте аккуратны и осторожны.
- Перед началом работы подготовьте рабочее место, уберите посторонние предметы.
- Убедитесь в исправности оборудования.
- Проверьте целостность лабораторной посуды и приборов из стекла. Нельзя пользоваться разбитой посудой или стеклянной посудой с трещинами.
- О повреждённом оборудовании немедленно сообщайте учителю.
- Устанавливайте оборудование подальше от края стола.
- После лабораторных опытов приведите в порядок рабочее место.



Штрихи и подписанные значения физической величины образуют шкалу прибора. Промежуток между двумя соседними штрихами называется делением шкалы.



Значение физической величины, соответствующее самому маленькому делению, называется ценой деления шкалы прибора.

### ВЫВОДЫ

Шкала прибора; цена деления

### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

### И ВОПРОСЫ ЗАДАНИЯ

1. Что такое деление шкалы прибора и цена деления шкалы?
2. Какие измерительные приборы вы знаете?
3. Как определить толщину монеты, имея в распоряжении линейку и несколько монет одного и того же достоинства? В каком случае толщина монеты будет измерена более точно — с малым или большим числом монет?
4. Как определить объём одной скрепки, если даны мензурка, вода и коробка со скрепками? Как повысить точность измерения?



- Измерительный прибор — линейка.
- Радиус окружности, длина отрезка.



## § 6 ПРОСТРАНСТВО И ВРЕМЯ

### НОВОЕ В УРОКЕ

- Какие четыре измерения имеет наш мир.
- Что такое степень числа 10.
- Как можно сравнить размеры больших и малых тел.

### ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое физическое тело?
- Какие физические величины и единицы физических величин вы знаете?

Для описания размеров тел используют длину, ширину и высоту. Они выражаются в единицах длины. Длину, ширину и высоту принято называть тремя измерениями, а наше пространство — трёхмерным. Но с течением времени тела могут менять как своё положение в пространстве, так и свою форму и свои размеры. Время часто называют четвёртым измерением.

**МИР, В КОТОРОМ МЫ ЖИВЁМ.** Для нас является привычной возможность двигаться вперёд и назад, вверх и вниз, вправо и влево, т. е. в противоположных направлениях для любого из трёх измерений нашего пространства. Развитие событий во времени идёт только в одном направлении — из прошлого в будущее. Вернуться к каким-либо событиям в прошлом мы можем только в наших воспоминаниях.

### ЭТО ИНТЕРЕСНО

Если попытаться продумать последствия путешествий во времени, можно прийти к серьёзным логическим противоречиям. Именно это, по-видимому, послужило причиной гипотезы о принципиальной необратимости времени, выдвинутой выдающимся астрофизиком С. Хокингом. Согласно этой гипотезе, в природе должен существовать до сих пор не открытый закон, запрещающий перемещение во времени из настоящего в прошлое.



Стивен Уильям Хокинг  
(1942—2018)

Физика — это не свод застывших правил, а живая наука, которая развивается с течением времени и открывает новые горизонты познания. Нобелевские лауреаты по физике Д. Гросс, В. Л. Гинзбург в конце XX в. сформулировали ключевые проблемы, которые предстоит решать физикам в следующем тысячелетии. Одна из них — почему наша Вселенная имеет одно временное измерение и три пространственных.

**БОЛЬШОЕ И МАЛЕНЬКОЕ. СТЕПЕНИ ЧИСЛА 10.** Нас окружают самые разные физические тела, от очень больших до очень маленьких. Но как сравнить диаметр атома, который в десять миллиардов раз меньше 1 м, и диаметр Земли, который примерно равен 12 700 км?

Во-первых, чтобы сравнить две величины, их нужно выразить в одинаковых единицах (в нашем случае — в метрах). Во-вторых, хотелось бы избежать записи чисел с огромным количеством нулей (например, в капле воды содержится около 10 000 000 000 000 000 000 000 молекул воды).



Для того чтобы сделать короче запись таких чисел, как 100, 1000, 10 000, 1 000 000 000, их записывают как **степени числа 10**. Вторая степень десяти — 100, записывается как  $10^2$ . Соответственно  $1\,000\,000\,000 = 10^9$ . Используя степень числа 10, можно сказать, что число молекул в капле воды —  $10^{22}$ , или величина двадцать второго порядка.

Размеры даже очень маленьких тел часто необходимо выражать в метрах (единица длины в СИ). Так, например, размер микробов в среднем составляет одну миллионную часть метра, или 0,000001 м. Это число также можно выразить степенью числа 10:  $0,000001\text{ м} = 10^{-6}\text{ м}$ .

Сравнивать величины, которые отличаются по степени числа 10, можно, найдя разницу между показателями степеней. Например, длина плодовой мушки составляет  $10^{-3}$  м, а длина полевой мыши —  $10^{-1}$  м. Число  $10^{-1}$  больше числа  $10^{-3}$  в 100 ( $10^2$ ) раз. Это означает, что длина полевой мыши *превышает* длину плодовой мушки на два порядка.

ЭТО ИНТЕРЕСНО



Р. Фейнман писал: «Быть может, следует признать тот факт, что время — это одно из понятий, которое определить невозможно, и просто сказать, что это нечто известно нам: это то, что определяет два последовательных события! Дело, однако, не в том, как дать определение понятия «время», а в том, как его измерить. Один из способов измерить время — это использовать нечто регулярно повторяющееся, нечто периодическое».



Ричард Филлипс Фейнман  
(1918—1988)

**МЕСТО ЧЕЛОВЕКА В ОКРУЖАЮЩЕМ ЕГО МИРЕ.** Согласно современным научным представлениям, 13—14 млрд лет назад произошло событие, которое называют Большим взрывом или моментом рождения нашей Вселенной. За последующее время сформировались атомы различных элементов, звёзды, планеты, многочисленные галактики. На Земле возникла жизнь и, наконец, появился «венеч природы» — человек.

В физике для обозначения масштабов явлений и процессов используют термины: микромир, макромир и мегамир.

**Микромир** — мир очень малых и непосредственно не наблюдаемых объектов (молекулы, атомы, а также ещё более мелкие объекты, из которых состоят атомы, — электроны, протоны и нейтроны).

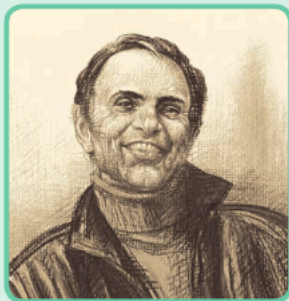
**Макромир** состоит из тел и объектов, имеющих устойчивые формы и обладающих размерами, соизмеримыми с размерами человека. В макромире пространственные размеры измеряются в миллиметрах, метрах и километрах.

**Мегами́р** — это мир огромных космических масштабов, включающий планеты и звёздные системы, галактики и их объединения, т. е. все объекты в наблюдаемой части Вселенной.

### ФИЗИКА В ЖИЗНИ

Привычными единицами длины и времени для человека являются метр и секунда. Действительно, метр — это средний рост трёхлетнего малыша, а примерно раз в секунду бьётся человеческое сердце. При этом физические величины, которые встречаются в окружающем нас мире, имеют огромный разброс в значениях. Так, размер атома водорода на десять порядков меньше метра и составляет примерно  $10^{-10}$  м. А размеры Вселенной, по современным оценкам, составляют  $10^{26}$  м. Что касается времени, то разброс в значениях поражает воображение не меньше: время, за которое свет проходит расстояние 30 см, составляет  $10^{-9}$  с (0,00000001 с), или одну наносекунду, а возраст Земли учёные оценивают в  $10^{17}$  с (100 000 000 000 000 000 с).

### ЭТО ИНТЕРЕСНО



Карл Эдуард Саган  
(1934—1996)

Трудно себе представить промежуток времени  $10^{18}$  с. По мнению современных учёных, именно столько времени прошло с начала образования Вселенной. Этот момент современная наука называет Большим взрывом. А первые люди на Земле появились миллионы лет назад. Чтобы сравнить возраст этих событий, представьте, что всё это случилось за один «космический» год. Такую хронологию придумал американский астроном Карл Саган. Он описал историю Вселенной в масштабе, при котором одной «космической» секунде соответствует 500 реальных земных лет. По такой хронологии наша Вселенная начала своё существование 1 января, а сейчас у нас на календаре 31 декабря, 23 часа 20 минут.

По этой хронологии новый «космический» год начнётся через 40 «космических» минут, или через  $40 \cdot 60 \cdot 500 = 1\,200\,000$  земных лет.

### Выводы

- ❗ Для записи больших и малых чисел используют степени числа 10.
- ❗ В физике для обозначения масштабов явлений и процессов используют термины: микромир, макромир и мегамир.

### Ключевые слова

Микромир; макромир; мегамир

### и вопросы задания

1. Как при помощи степеней числа 10 записать числа: сто, тысяча, миллион?
2. Как при помощи степеней числа 10 записать числа: 0,1; 0,01; 0,0001?
3. Какие объекты являются характерными для микро- и макромира?

# ИЗМЕРЕНИЕ И ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ

## § 7

### НОВОЕ В УРОКЕ

- Какие проблемы возникают при измерениях.
- Что влияет на точность измерения.
- Что такое среднее значение измерений.

### ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что значит «измерить физическую величину»?
- Что такое шкала измерительного прибора?
- Что такое цена деления шкалы?

Измерения являются обязательной и неотъемлемой частью физики. Измерить физическую величину — значит сравнить её с соответствующим эталоном и узнать, во сколько раз её числовое значение больше или меньше этого эталона.

**ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ.** Производя измерения, необходимо учитывать соотношение значений измеряемой величины и возможностей измерительного прибора. Так, при измерении размеров тел удобнее использовать прибор (линейку, штангенциркуль и т. п.), максимальное значение измерительной шкалы которого превышает значение измеряемой величины. Но и такое измерение не будет абсолютно точным.

В физике допускаемую при измерении неточность называют погрешностью измерений. Она возникает, например, в случае, когда значение измеряемой величины лежит между штрихами шкалы прибора. В этом случае погрешность не может быть больше цены деления. При этом, даже если нам кажется, что при измерении длины предмета его кромка в точности совпадает со штрихом на измерительном приборе, погрешность измерения всё равно присутствует, потому что оценка на глаз не бывает идеально точной.

Именно поэтому принято считать, что **погрешность измерений равна половине цены деления шкалы измерительного прибора.**

### ВАЖНО

Для записи величин с учётом погрешности измерения используют следующую формулу:

$$A = a \pm \Delta a,$$

где  $A$  — измеряемая величина;  $a$  — результат измерения;  $\Delta a$  — погрешность измерения ( $\Delta$  — греческая буква «дельта»).

Представим себе, что мы измеряем длину карандаша так, как показано на рисунке. С учётом погрешности измерения линейки, цена деления которой составляет 1 мм, можно записать, что длина карандаша

$$l = (8,60 \pm 0,05) \text{ см или } l = (86,0 \pm 0,5) \text{ мм.}$$

Обратите внимание, что при записи величин с учётом погрешности *результат измерения и его погрешность должны содержать одинаковое число знаков после запятой.*



## ФИЗИКА В ЖИЗНИ

Часто нам приходится измерять величины, значения которых больше максимального значения, указанного на шкале измерительного прибора, используемого нами. Например, если необходимо измерить длину большого стола, но под рукой есть только короткая линейка, то нам придётся последовательно прикладывать линейку несколько раз. При этом с каждым измерением погрешность измерения будет накапливаться.

**СРЕДНЕЕ ЗНАЧЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ.** Чтобы получить более точное значение, измерение производят несколько раз. Иногда для этого даже используют разные измерительные приборы. В результате каждого измерения получают значения, которые могут несколько отличаться одно от другого. Как же понять, чему в итоге равна измеряемая нами величина? Для ответа на этот вопрос вычисляют число, которое называют средним значением.

## ВАЖНО

**Среднее значение** получают следующим образом: складывают результаты всех измерений, а затем полученную сумму делят на количество измерений.

Очевидно, что *многократные измерения и вычисление их среднего значения дадут более точный результат измерения*. Однако многократные измерения не могут улучшать точность до бесконечности. Погрешность таких измерений всё равно определяется возможностями измерительного прибора.



Определите длину стола, сделав несколько измерений обычной школьной линейкой.

**ПОМОЩНИК.** Для определения длины стола приложите линейку необходимое количество раз. Запишите полученный результат измерения. Повторите измерение несколько раз. Вычислите среднее значение.

**ПРЯМЫЕ И КОСВЕННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ.** Измерения принято подразделять на прямые и косвенные. *В прямых измерениях значение физической величины определяется непосредственно по шкале прибора*. Например, измерение длины предмета при помощи линейки, измерение массы тела при помощи весов, измерение объёма жидкости при помощи мензурки и т. п.

*При косвенных измерениях значение физической величины определяется по формуле через другие физические величины, которые измеряются прямым образом*. Так, для измерения объёма куба необходимо измерить длину его ребра  $a$ , например, при помощи линейки, а затем найти его объём по формуле

$$V = a \cdot a \cdot a.$$

А для измерения скорости тела необходимо измерить путь  $s$ , пройденный телом за время  $t$ , и воспользоваться формулой

$$v = \frac{s}{t}.$$

Поскольку физические величины, которые входят в формулу для определения другой физической величины, измерены с некоторой погрешностью, то результат косвенного измерения также не является точным. Однако методы оценки погрешности косвенных измерений достаточно сложны. С некоторыми из них вы познакомитесь в старших классах.

**ЗНАЧАЩИЕ ЦИФРЫ ЧИСЛА.** Очень важно, чтобы измерения, полученные в результате эксперимента, были записаны с учётом погрешностей. Например, мы измерили длину  $l$  стороны прямоугольника обычной школьной линейкой с ценой деления, равной 1 мм, получили  $l = (5,30 \pm 0,05)$  см (считаем погрешность равной половине цены деления измерительного прибора). Это означает, что длина  $l$  лежит между значениями:

$$5,25 \text{ см} \leq l \leq 5,35 \text{ см}.$$

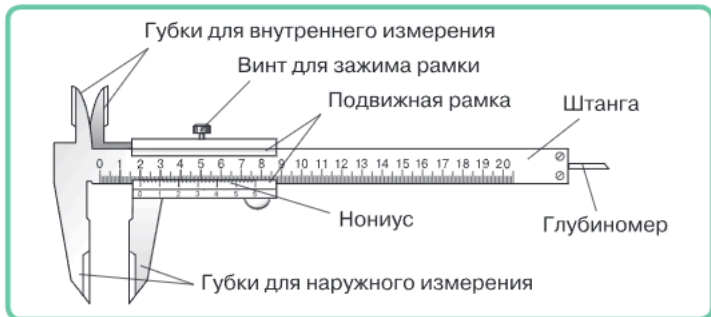
На практике достаточно часто приходится сталкиваться с ситуацией, когда измерения записаны без явного указания погрешностей. Например, мы с вами будем решать задачи, в которых указаны значения тех или иных физических величин. Мы будем пользоваться различными физическими таблицами. В подобных случаях в записи числа используется столько знаков после запятой, сколько цифр надёжно установлено с учётом погрешностей измерений. То есть в этих случаях мы будем считать верными все цифры.

Число надёжно установленных цифр в записи результата измерения называется числом значащих цифр.

При записи результата, полученного после выполнения вычислений, не следует писать лишние цифры после запятой.

**Рекомендуется оставлять только значащие цифры.**

**ШТАНГЕНЦИРКУЛЬ И МИКРОМЕТР.** Одним из самых распространённых измерительных приборов, позволяющих измерять размеры с высокой точностью, является штангенциркуль. Он позволяет измерять наружные и внутренние размеры, а также глубину отверстий с точностью от 0,1 мм и выше. Штангенциркуль имеет основную шкалу и вспомогательную шкалу — нониус — для более точного измерения числа долей делений на основной шкале. При измерении размеров с помощью штангенциркуля необходимо сложить значения его основной и вспомогательной шкал.



Первые деревянные штангенциркули появились в начале XVII в. Металлические штангенциркули с нониусом появились в конце XVIII в. в Англии. С тех пор этот измерительный прибор почти не изменился.

Ещё одним измерительным прибором, позволяющим измерять размеры с высокой точностью (порядка от 0,01 мм и выше), является микрометр. Измерения с помощью микрометра выполняются посредством перемещения винта в неподвижной гайке. Угол, на который поворачивается винт, позволяет определить линейный размер. Как и штангенциркуль, микрометр имеет две шкалы — основную и дополнительную, позволяющую определить число долей делений на основной шкале. Микрометры бывают нескольких типов: для измерения длин от 0 до 25 мм, от 25 до 50 мм и т. д.



Изобретён микрометр был в середине XIX в. во Франции.



Штангенциркуль и микрометр применяются в сферах деятельности, связанных с созданием и обработкой изделий из металла и древесины, созданием и ремонтом различного оборудования и т. п.



Оцените толщину палочки.

**ПОМОЩНИК.** Возьмите 10—20 счётных палочек или палочек от конструктора, или спичек, отломав от них серные головки. Выложите палочки плотно в ряд и измерьте ширину этого ряда с помощью металлической линейки. По результатам измерения сделайте выводы о толщине одной палочки и предположения о погрешности такого измерения. Измерьте толщину различных палочек с помощью микрометра или штангенциркуля. Сравните полученные результаты. Различаются ли погрешности сделанных измерений? Какой способ вы считаете более точным?

## Выводы

- ! При измерении физических величин всегда присутствуют погрешности измерения, которые необходимо учитывать.
- ! Измерения принято подразделять на прямые и косвенные.

## Ключевые слова

Погрешность измерения; прямые измерения; косвенные измерения; значащие цифры; штангенциркуль; микрометр

## Вопросы и задания

1. Измерить длину стола можно либо с помощью металлической рулетки, либо с помощью короткой линейки с такой же ценой деления. Каким прибором следует воспользоваться для получения более точного результата?
2. Как определить среднее значение при нескольких измерениях?
3. Объясните, что означают числа в записи результата однократного измерения длины шага человека —  $53,2 \text{ см} \pm 0,5 \text{ см}$ .
4. Что такое значащие цифры в записи результата измерения?

# ИЗМЕРЕНИЕ РАССТОЯНИЙ И РАЗМЕРОВ МАЛЫХ ТЕЛ. ИЗМЕРЕНИЕ ВРЕМЕНИ

## § 8

### НОВОЕ В УРОКЕ

- Как определяются размеры малых тел.
- Как измеряются большие расстояния.
- Как измеряется время.

### ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что значит измерить физическую величину?
- Что такое прямые и косвенные измерения?
- Какие объекты являются характерными для микро-, макро- и мегамира?

Если физики говорят о той или иной физической величине, то они подразумевают, что обязательно существуют методы её измерения. Следовательно, и в случае измерения размеров тел и расстояний, которые отличаются от эталона длины — метра на много порядков в большую или меньшую сторону, созданы специальные измерительные приборы и методы измерения.

**ИЗМЕРЕНИЕ РАССТОЯНИЙ И РАЗМЕРОВ МАЛЫХ ТЕЛ.** Невооружённым глазом при достаточном освещении мы можем разглядеть тела, размеры которых составляют порядка одного миллиметра.

### ФИЗИКА В ЖИЗНИ

Обычная лупа даёт увеличение примерно в 10 раз, а хороший исследовательский оптический микроскоп — в 1000 или 2000 раз.

Оценим размер физического тела, которое мы можем увидеть в такой микроскоп. Невооружённым глазом мы видим тело размером  $1 \text{ мм} = 10^{-3} \text{ м}$ . Тогда с помощью оптического микроскопа, который даёт увеличение в 1000 раз, мы сможем увидеть тело, которое в 1000 раз меньше:  $10^{-3} \text{ м} / 1000 = 10^{-6} \text{ м}$ . Тела меньшего размера мы уже не сможем увидеть при помощи данного оптического микроскопа.

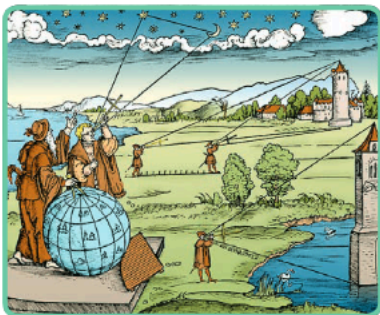
Современный сложный измерительный прибор — **электронный микроскоп** позволяет увидеть тела, размеры которых составляют порядка  $10^{-9} \text{ м}$ . Для изучения мельчайших «кирпичиков» материи — атомов, протонов, электронов и других элементарных частиц — люди научились создавать сложнейшие научно-исследовательские установки — **ускорители частиц**.

**ГЕОДЕЗИЯ — НАУКА ОБ ИЗМЕРЕНИИ ЗЕМЕЛЬ.** Вам хорошо известны линейки, мерные ленты и рулетки, которые используются для измерения небольших длин от нескольких миллиметров до нескольких метров. Но как измерить расстояние, например, до соседнего дома, до дерева, стоящего на другом берегу реки, до горы, виднеющейся на горизонте? Как измерить расстояния на местности для составления карты? Если исторически метр определялся как одна сорокамиллионная часть длины Парижского меридиана, то как люди измерили длину этого меридиана?

Измерениями размеров и расстояний на Земле люди занимались с древних времён. Название одной из старейших наук — геодезии можно перевести с греческого как «измерение земель». Сегодня известно, что основы геодезии закладывались за несколько тысяч лет до нашей эры, когда люди



Диоптра



Метод триангуляции

выполняли измерения для разделения участков земли, прокладки оросительных каналов, возведения сложных архитектурных сооружений. Древнейшими измерительными приборами для этих целей были *грома* и *диоптра*, которые позволяли измерять углы, а необходимые расстояния находились путём геометрических расчётов.

Современная геодезия берёт своё начало в XVII в., когда были изобретены зрительная труба и барометр, позволивший определять высоту расположения тела над поверхностью Земли. В 1615—1617 гг. голландский математик, физик и астроном Виллеброрд Снелль (Снеллиус) предложил *метод триангуляции (треугольников)*, позволяющий измерять большие расстояния, используя свойства треугольников.

В 1792 г., используя метод триангуляции, французские астрономы Жан-Батист Деламбер и Пьер Мешен с хорошей точностью измерили длину дуги меридиана между двумя городами, один из которых находился во

Франции, а другой — в Испании. Благодаря этому измерению в 1799 г. был установлен эталон новой единицы длины — «метр».

**АСТРОНОМИЯ — НАУКА О НЕБЕСНЫХ ТЕЛАХ.** С глубокой древности люди изучали звёздное небо, пытались определить расстояние от Земли до различных небесных тел, размеры небесных тел, расстояния между ними, узнать законы их движения. Для этих целей астрономы создавали различные измерительные приборы. В течение многих веков главными инструментами для астрономических наблюдений были *сфера отражения (армилярная сфера)* и *астролябия*.

Астролябия использовалась для измерения горизонтальных углов при землемерных работах и определения широт и долгот небесных тел. Появилась астролябия в начале новой эры в Древней Греции. После падения Римской империи в Европе про астролябию забыли, но её сохранили и усовершенствовали арабские астрономы. «Вернулась» астролябия в Европу в XII в., а в эпоху Возрождения, в XV—XVI вв., она вместе с армилярной сферой стала одним из основных измерительных инструментов в астрономии.

У российского императора Петра I была своя любимая астролябия, изготовленная специально для него. На обороте этой астролябии изображён мастер с циркулем и линейкой, а вокруг надпись на старонемецком языке, в вольном переводе означающая: «Высокое качество обеспечивается использованием линейки, пера и делительного циркуля».

Первым в Европе во второй половине XVI в. начал проводить систематические и высокоточные астрономические наблюдения датский астроном Тихо Браге. На основании его работ Иоганн Кёпpler вывел законы движения планет. Большую часть инструментов в обсерватории Тихо Браге сделал сам. Для повышения точности измерений он не только увеличил размеры инструментов, но и разработал новые методы наблюдений.

Новым этапом в астрономических наблюдениях и измерениях стало создание Галилео Галилеем первого телескопа — *зрительной трубы* в начале XVII в. Первая его труба давала трёхкратное увеличение, затем он усовершенствовал своё изобретение и добился 32-кратного увеличения.

Сегодня для астрономических измерений используются сложные установки — телескопы, одни из которых расположены на Земле, а другие запущены в космос.



Большой телескоп азимутальный (БТА) на Кавказе

**СОСТАВЛЕНИЕ КАРТ.** Люди начали создавать карты несколько тысяч лет назад, по-видимому, ещё до появления письменности, о чём свидетельствуют найденные археологами наскальные рисунки. Искусство составления карт развивалось и совершенствовалось в древности в Греции, Китае и Индии, в Средние века на Востоке и в Европе.

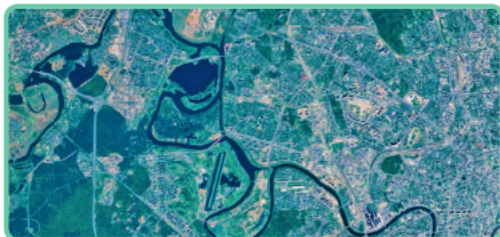
В России искусство составления географических чертежей было известно уже в допетровскую эпоху, в XVI в. Изобретение компаса, телескопа, секстанта и других навигационных приборов позволило в эпоху Великих географических открытий нанести на карту Земли тысячи новых географических объектов, включая очертания новых континентов. Примерно в это же время были изобретены основные картографические проекции и математические методы построения карт.

Революция в картографии пришлось на начало XX в. В это время появились новые инструменты для проведения наземной топографической съёмки — измерения расстояний, высот, углов и т. п. Кроме того, в 1910 г. впервые была произведена аэрофотосъёмка с борта самолёта и получены снимки труднодоступных участков местности. Сегодня на смену наземной съёмке и аэросъёмке всё чаще приходит съёмка местности с искусственных спутников Земли.

Получение карт с помощью аэрофотосъёмки или спутниковой съёмки — сложный процесс обработки и распознавания изображений, в котором большую роль играет развитие оптической техники, алгоритмов распознавания изображений и компьютерной техники.



Карта XVI в.: кругосветное путешествие Фрэнсиса Дрейка



Результат аэрофотосъёмки местности

**ИЗМЕРЕНИЕ ВРЕМЕНИ.** Для измерения времени люди издревле выбирали процессы, которые периодически повторяются: смена дня и ночи, смена времени года. Поэтому самыми древними стали солнечные часы. В основе их конструкции лежит измерение длины тени от вертикально стоящей палки, обелиска и т. п., закреплённых на плоской основе. Направление тени указывало время суток, а длина тени изменялась в зависимости от времени года. Но главный недостаток солнечных часов — невозможность ими пользоваться в пасмурную погоду или в тёмное время суток.

Этого недостатка лишены *водяные часы*, принцип работы которых основан на использовании процесса вытекания воды из сосуда. Водяные часы — *клепсидры* — использовались уже в Древней Греции в III в. до н. э.



Атомные часы

Первые механические часы стали появляться на центральных башнях городов в XIII в. *Часы с маятником* появились в Средние века. В основе принципа их работы лежит использование периодического процесса колебаний маятника.

Открытия в области физики в XX в. привели к появлению *электронных*, *кварцевых* и *атомных* часов. Самыми точными на сегодняшний день считаются атомные часы, принцип действия которых основан на энергетических переходах в атоме цезия. Работают такие часы с точностью до одной миллиардной секунды.

**ХРОНОМЕТР.** Для определения точного местоположения корабля в море нужно было научиться измерять точное время.



Модель хронометра Гаррисона

С древности время на корабле моряки определяли с помощью Солнца и звёзд. Такой способ позволял с неплохой точностью определить широту. Но определить долготу было намного труднее. Для определения долготы нужно было знать время на судне и время в каком-то другом месте. Моряки определяли разность во времени и, учитывая, что один час соответствует  $15^\circ$ , легко рассчитывали расстояние. Проблема заключалась в том, что часы с маятниковым механизмом, хорошо работающие на суше, на судне работали неточно из-за качки. Английский изобретатель Джон Гаррисон в середине XVIII в. сконструировал часы с уравнивающими деталями, которые были названы морским хронометром. С тех пор морской хронометр стал обязательной частью оборудования морских судов.

**Выводы**

- ! С древних времён и вплоть до наших дней люди изобретают и совершенствуют различные измерительные приборы.
- ! Измерительные приборы играют исключительно важную роль как в быту, так и в науке, технике и технологиях.

**Ключевые слова**

Измерение расстояний; определение размеров малых тел; измерение времени; часы; хронометр

# РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ § 9

- **ЗАДАЧА 1.** Сравните размер атома (0,1 нм) и диаметр Земли (12 700 км). На сколько порядков они различаются?

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:  
 $d = 0,1$  нм  
 $D = 12\,700$  км

$n = ?$

Решение.

Выразим размеры атома и Земли в единицах СИ и представим в виде степени числа 10:

$$d = 0,1 \text{ нм} = 0,1 \cdot 10^{-9} \text{ м} = 10^{-10} \text{ м};$$

$$D = 12\,700 \text{ км} = 12\,700 \cdot 10^3 \text{ м} = 1,27 \cdot 10^7 \text{ м} \approx 10^7 \text{ м}.$$

Для сравнения этих величин нужно найти разницу между показателями степеней:  $7 - (-10) = 17$ .

Таким образом, диаметр Земли больше размера атома на 17 порядков.

Ответ: 17.

- **ЗАДАЧА 2.** Ученик измерил размеры коробки линейкой с ценой деления 1 мм и получил результаты: 12,5 см, 18,0 см и 5,5 см. В каких границах лежит истинное значение объёма параллелепипеда ( $V_{\min}$ ;  $V_{\max}$ )?

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:  
 $a = 12,5$  см  
 $b = 18,0$  см  
 $c = 5,5$  см

$V = ?$

Решение.

Запишем результаты измерений с учётом погрешности, считая, что погрешность равна половине цены деления:

$$a = 12,50 \pm 0,05 \text{ см};$$

$$b = 18,00 \pm 0,05 \text{ см};$$

$$c = 5,50 \pm 0,05 \text{ см}.$$

Тогда минимальное значение объёма:

$$V_{\min} = a_{\min} b_{\min} c_{\min} = 12,45 \cdot 17,95 \cdot 5,45 = 1217,95 \text{ (см}^3\text{)};$$

$a$  максимальное значение объёма:

$$V_{\max} = a_{\max} b_{\max} c_{\max} = 12,55 \cdot 18,05 \cdot 5,55 = 1257,23 \text{ (см}^3\text{)}.$$

Таким образом, истинное значение объёма находится в следующих границах:

$$1217,95 \text{ см}^3 < V < 1257,23 \text{ см}^3.$$

Ответ:  $1217,95 \text{ см}^3 < V < 1257,23 \text{ см}^3$ .

- **ЗАДАЧА 3.** Необходимо выбрать максимально возможный размер телевизора, чтобы он поместился на полке, ограниченной размерами: ширина 115 см и высота 78 см. В продаже имеются телевизоры с диагональю 42", 49", 50" и 55" ( $1'' = 1$  дюйм = 2,54 см).



Запишем условие задачи и решим её.

Дано:  
 $a = 115$  см  
 $b = 78$  см

$d$  — ?

Решение.

Чтобы подобрать размер телевизора, сначала найдём диагональ полки по теореме Пифагора:

$$d = \sqrt{a^2 + b^2};$$

$$d = \sqrt{115^2 + 78^2} \approx 139 \text{ (см)}.$$

Переведём это значение в дюймы:  $139 \text{ см} = 139 : 2,54 \text{ дюйма} = 54,7 \text{ дюйма}$ .

Для размещения на полке с заданными размерами подходят телевизоры с диагональю  $50''$  и меньше. Максимально возможный размер телевизора —  $50''$ . (Конечно, при покупке телевизора необходимо ориентироваться не только на диагональ, но и на габаритные размеры определённой модели.)

Ответ:  $50''$ .

### Задачи для самостоятельного решения

- 1 Для того чтобы оценить расстояние от дома до школы, ученик решил считать количество шагов, которое он сделает на этом пути. Перед этим он оценил ширину своего шага, проведя серию из пяти измерений и вычислив среднее из полученных значений. Какое среднее значение ширины шага он получил, если его измерения: 52, 48, 47, 49, 49 см? Определите приблизительное расстояние между домом и школой, если ученик при ходьбе от дома до школы насчитал 886 шагов, а от школы до дома — 910.
- 2 Ученик с помощью школьной линейки измерил толщину пачки бумаги из 500 листов и получил 5,7 см. Оцените толщину одного листа бумаги. Можно ли результат измерения записать с погрешностью?
- 3 Для измерения очень коротких промежутков времени существуют такие единицы, как микросекунда ( $1 \text{ мкс} = 0,000001 \text{ с}$ ) и наносекунда ( $1 \text{ нс} = 0,00000001 \text{ с}$ ). За сколько микросекунд и за сколько наносекунд минутная стрелка часов сделает полный оборот по циферблату?
- 4 Время прохождения света от Земли до Луны 1,25 с. Во сколько раз оно меньше времени прохождения света от Солнца до Земли, составляющего 8,3 мин?
- 5 На сколько порядков различаются диаметр молекулы кислорода, равный 0,3 нм, и диаметр футбольного мяча, равный 30 см?
- 6 Сравните массу синего кита ( $150 \text{ т}$ ) и белого медведя ( $10^6 \text{ г}$ ). На сколько порядков они различаются?
- 7 Во сколько раз масса атома водорода, равная  $1,7 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ , больше массы его орбитального электрона, равной  $9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$ ?
- 8 Для определения объёма тела неправильной геометрической формы пользуются мерным цилиндром с ценой деления 1 мл, наполненным водой до уровня 150 мл. После погружения тела в воду уровень воды в мерном цилиндре поднялся до 162 мл. В каких границах лежит истинное значение объёма тела?

# ЛАБОРАТОРНЫЕ И ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ § 10

## Лабораторная работа № 1

### Определение цены деления шкалы измерительного прибора

#### Цель работы

Научиться пользоваться простыми измерительными приборами — линейкой и измерительным цилиндром; научиться определять цену деления шкал измерительных приборов.

#### Оборудование и материалы

Две линейки с разной ценой деления, измерительный цилиндр (или мензурка), стакан с водой, колба с водой, пробирка с водой, предметы для измерения длины и объёма.

#### Ход работы

##### Задание 1. Работа с линейкой

- Определите цену деления одной из линеек предложенного набора. Результат занесите в таблицу в своей тетради (см. таблицу ниже).
- С помощью выбранной вами линейки проведите измерения длин ( $l$ ) предметов, указанных в разделе «Оборудование и материалы». Результаты занесите в таблицу в своей тетради (см. образец таблицы ниже).

Линейка	Цена деления, см	Длина $l_1$ , см	Длина $l_2$ , см	Длина $l_3$ , см	Длина $l_4$ , см	Погрешность измерения
№ 1						
№ 2						

- Определите погрешность измерения для используемой вами линейки. Результаты занесите в таблицу.
- Проведите вышеуказанные процедуры для второй линейки. Результаты занесите в таблицу.
- Запишите полученные длины предметов с учётом погрешности измерений в новую таблицу в своей тетради (см. образец таблицы ниже).

Предмет для измерения	Длина предмета (значение $\pm$ погрешность), см	
	Линейка № 1	Линейка № 2

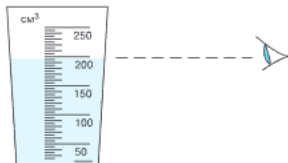
- Сравните результаты измерений разными линейками и сделайте выводы.

##### Задание 2. Работа с измерительным цилиндром

- Рассмотрите измерительный цилиндр и определите применяемую в нём единицу объёма.
- Определите цену деления измерительного цилиндра:

$$\text{цена деления} = (\dots - \dots) / \dots = \dots$$

- Перелейте воду из стакана в измерительный цилиндр.
- Определите положение уровня воды. Для этого определите деление шкалы измерительного цилиндра, соответствующее положению плоскости поверхности воды. Помните, что при измерениях положение уровня глаз наблюдателя должно находиться на одном уровне с плоскостью поверхности воды. Не наклоняйте цилиндр.
- Зарисуйте в тетради часть измерительного цилиндра с положением уровня воды.
- Зная цену деления измерительного цилиндра, определите объём воды, которая находится в цилиндре.
- Проведите аналогичные процедуры по определению объёмов воды, которые содержатся в колбе и пробирке.
- Заполните таблицу в своей тетради.



Ёмкость с водой	Объём жидкости (значение $\pm$ погрешность), мл

## Лабораторная работа № 2

### Работа со штангенциркулем

#### Цель работы

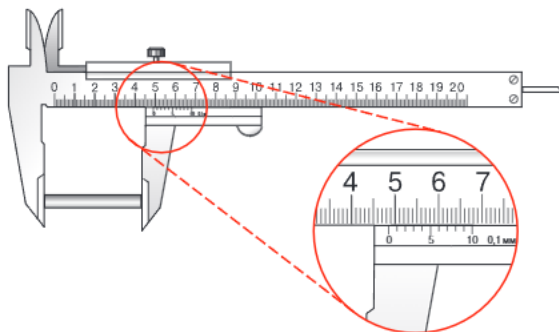
Ознакомиться с устройством штангенциркуля и научиться пользоваться им.

#### Оборудование и материалы

Штангенциркуль, различные предметы для измерения.

#### Ход работы

- Рассмотрите внимательно штангенциркуль и ознакомьтесь с его устройством.



- Внесите названия предметов для измерения в первый столбец таблицы.
- Перед началом измерения необходимо проверить штангенциркуль на точность. Для этого необходимо полностью свести губки инструмента и проверить, чтобы нулевые риски на обеих шкалах совпали.
- Поместите предмет для измерения так, чтобы он прилегал к левой губке для наружных измерений.
- Подвиньте подвижную рамку так, чтобы она плотно зажала предмет для измерения между губками.
- Определите, какую длину (в мм) на основной шкале показывает нулевая отметка на шкале нониуса.
- Для измерения десятых долей миллиметра на шкале нониуса найдите ближайшую к нулевой риску, которая совпадает с риской основной шкалы.
- Определите размер предмета, сложив число миллиметров (целых делений по основной шкале) и число долей миллиметра (по шкале нониуса). Например, размер предмета на рисунке составляет  $48,0 \text{ мм} + 0,6 \text{ мм} = 48,6 \text{ мм}$ .
- Результат измерения запишите в таблицу с учётом погрешности измерения.
- Измерьте таким же способом остальные предметы для измерения. Результаты измерений занесите в таблицу (см. ниже) в своей тетради.
- Для измерения внутренних размеров предметов используются губки для внутренних измерений. Расчёт размера ведётся аналогично предыдущему. Измерьте внутренний размер предмета. Результаты измерения запишите в таблицу.

Предмет для измерения	Основная шкала, мм	Шкала нониуса, мм	Размер с учётом погрешности, мм

### Практические работы-исследования

#### Проблемы точности измерений физических величин

Измерить физическую величину — это значит найти опытным путём её значение, сравнив с эталоном, используя специальные технические средства. Например, чтобы измерить расстояние  $A$ , мы сравниваем его с эталоном длины  $a = 1 \text{ м}$ , применяя измерительный прибор. Тогда результат измерений величины  $A$  можно представить как  $A = na$ , где  $n$  — некоторое число. Однако истинное (точное) значение физической величины  $A_{\text{ист}}$  не может быть измерено абсолютно точно, что связано с рядом причин, в том числе с несовершенством измерительных приборов. Поэтому результат измерения может быть записан только приближённо, с той или иной степенью точности.

Погрешности подразделяют на систематические и случайные. Систематические погрешности остаются неизменными при выполнении повторных измерений. Они могут быть связаны с самим измерительным прибором, например изгиб стрелки на шкале, неточность нанесения разметки на шкалу и т. п. Такие погрешности называются инструментальными. Случайные погрешности возникают из-за действия различных случайных факторов, например колебаний температуры, движения воздуха и т. п. Случайные погрешности могут изменяться при повторных измерениях.

Когда проводятся измерения и делаются оценки погрешностей этих измерений для нескольких однотипных объектов, важно понимать, что результаты зависят от природы измеряемых объектов. Например, в одной из работ вам предстоит измерить толщину листа бумаги двумя способами. Первым способом с помощью линейки измеряется толщина всей пачки бумаги, а затем путём деления этой величины на количество листов находится толщина отдельного листа. Вторым способом толщина листа измеряется непосредственно с помощью микрометра. При этом важно понимать, что эти измерения качественно различны. При первом способе искомая величина получается в результате единичного измерения и усреднения по большому числу однотипных объектов, а второй способ даёт значение толщины для данного конкретного листа. Таким образом, первым способом мы получаем косвенное измерение толщины листа, тогда как вторым способом — прямое. Это же относится и к оценкам погрешностей измерений.

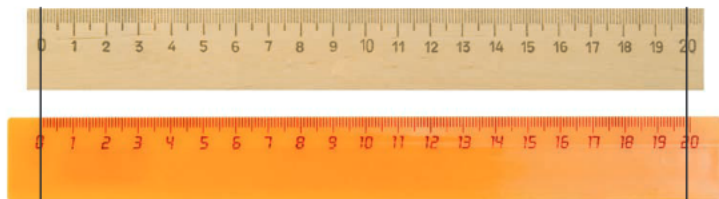
**СРАВНЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ЛИНЕЙКАМИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ.** Считается, что для линейки с миллиметровыми делениями погрешность измерения не превышает 0,5 мм. Однако сами измерительные приборы бывают несовершенны (они могут быть сделаны из разных материалов, иметь разную толщину насечек и т. д.), и из-за этого при измерении одной и той же величины разные измерительные приборы могут давать разные результаты измерений.

#### Цель работы

Сравнить результаты измерений разных видов линеек и оценить, какие факторы влияют на точность измерений.

#### ПОМОЩНИК

- В качестве оборудования можно использовать металлическую линейку, набор одинаковых деревянных линеек, набор пластмассовых линеек разной длины, предмет для измерения.
- Примите в качестве эталонной линейки металлическую линейку, так как благодаря технологии изготовления металлические линейки являются более точными, чем линейки, изготовленные из других материалов.
- Сравните измерения одного и того же предмета различными линейками, сравните различия в измерениях различными линейками с величиной погрешности линейки.
- Сделайте выводы.



**ИЗМЕРЕНИЕ ТОЛЩИНЫ ЛИСТА ПИСЧЕЙ БУМАГИ.** В пачке писчей бумаги содержится 500 листов. Как найти толщину одного листа бумаги при помощи различных измерительных приборов? Как корректно оценить погрешность такого измерения?

### Цель работы

Оценить толщину одного листа писчей бумаги и погрешность полученной величины, используя разные измерительные приборы (позволяющие делать измерения с различной точностью).

### ПОМОЩНИК

- В качестве оборудования можно использовать металлическую линейку, микрометр или штангенциркуль, пачку писчей бумаги.
- Измерьте толщину пачки бумаги с помощью металлической линейки. По результатам измерения сделайте выводы о толщине одного листа и предположения о погрешности такого измерения.
- Измерьте толщину различных листов бумаги с помощью микрометра или штангенциркуля. По результатам измерения сделайте выводы о толщине одного листа и предположения о погрешности такого измерения.
- Сделайте выводы.



**ИЗМЕРЕНИЕ МАСС МАЛЫХ ТЕЛ МЕТОДОМ ВЗВЕШИВАНИЯ.** Как оценить массу одного зёрнышка риса или гречки? А массу одного макового зёрнышка?

### Цель работы

Оценить значение малых масс методом взвешивания.

### ПОМОЩНИК

- В качестве оборудования рекомендуется использовать электронные весы с погрешностью, не превышающей 0,01 г, зёрнышки различных круп или семена растений.
- Отсчитайте достаточно большое количество зёрен и взвесьте их. По результатам взвешивания сделайте выводы о массе одного зёрнышка и предположения о погрешности такого измерения.
- Сделайте выводы.



**ИЗМЕРЕНИЕ ВРЕМЕНИ РЕАКЦИИ.** При проведении физических исследований часто необходимо измерять время изучаемого физического процесса. В школьном эксперименте для таких измерений используются секундомеры. При этом большое влияние на точность измерения с помощью секундомера оказывает время реакции человека, проводящего измерения.

### Цель работы

Оценить ваше время реакции, время реакции других учеников из класса, среднее время реакции и отличие собственного времени реакции от среднего времени реакции.

### ПОМОЩНИК

- Для измерений рекомендуется использовать электронный секундомер.
- Однократное время реакции можно измерить, включив и сразу же выключив секундомер.
- Посчитайте своё среднее время реакции.
- Посчитайте время реакции других учеников класса, время реакции учителя.
- Посчитайте, на сколько различается время реакции других участников эксперимента.
- Сделайте выводы.

### ПОУЧИТЕЛЬНАЯ ИСТОРИЯ ИЗ ПРАКТИКИ ИЗМЕРЕНИЙ

Ученики 7 класса Петя и Саша учатся в школе с углублённым изучением физики. Поскольку они хорошо освоили методы работы с точными измерительными инструментами, учитель поручил им измерить микрометром диаметр тонкой проволоки длиной около метра. Результат нужно было записать с соответствующей погрешностью.

**НАУЧНАЯ СПРАВКА.** В промышленных масштабах проволока изготавливается методом волочения, т. е. путём протаскивания через ряд отверстий с постепенно уменьшающимся диаметром. Такая технология изготовления, очевидно, не гарантирует, что сечение проволоки по всей длине будет иметь форму круга. Поэтому при проведении серии измерений различия в значениях диаметра  $d$  проволоки могут превышать инструментальную погрешность.

### Этапы выполнения задания

1) Школьники проделали 6 измерений диаметра проволоки и результаты записали в таблицу.

2) Поскольку полученные значения несколько отличались друг от друга, то Петя и Саша решили, что наиболее точным значением диаметра проволоки будет среднее значение величин:  $d_{\text{ср}} = \frac{d_1 + d_2 + \dots + d_n}{n}$ , где  $n = 6$  — количество измерений.

Согласно результатам измерений  $d_{\text{ср}} = 0,53$  мм.

3) Вопрос, как оценивать погрешность измерения диаметра, оказался самым трудным для школьников. Петя предложил сначала вычислить погрешности отдельных измерений по формуле  $\Delta d_i = d_i - d_{\text{ср}}$  и результаты занести в таблицу:

№ измерения	1	2	3	4	5	6
$d_i$ , мм	0,54	0,52	0,55	0,52	0,52	0,53
$\Delta d_i$ , мм	0,01	-0,01	0,02	-0,01	-0,01	0

4) Саша продолжил рассуждения и высказал предположение, что наиболее правдоподобной оценкой погрешности измерения диаметра также будет среднее значение погрешностей отдельных измерений:

$$\Delta d_{\text{ср}} = \frac{\Delta d_1 + \Delta d_2 + \dots + \Delta d_n}{n}, \text{ где } n = 6.$$

- 5) Выполните дальнейшие вычисления.
- 6) Обсудите полученный результат.
- 7) Предложите свой вариант оценки погрешности измерения диаметра.

### ЧИСЛО $\pi$ И ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ДЛИНЫ ОКРУЖНОСТИ

В 30-х гг. XX в. появилась история, которую можно было бы назвать «Число  $\pi$  для китобоев». В статье биологов описывалась задача из практики китобоев о том, как определить массу пойманного кита путём оценки его объёма и расчёта по определённым формулам. В формулах, которые приводились в справочнике, присутствовало число  $\pi$ . При этом в таблицах со значениями констант якобы было сказано, что «для гренландских китов число  $\pi$  равно трём».

В школе на уроках математики вы узнали, что число  $\pi = 3,14$ . Однако точное значение этого числа содержит бесконечное количество знаков после запятой.

Пусть у нас имеется окружность и мы можем измерить её диаметр с помощью линейки и с помощью штангенциркуля. С какой точностью мы можем определить длину этой окружности? Как правильно записать найденную длину окружности с учётом погрешности измерений? Как повлияет на определение этой погрешности количество знаков после запятой в числе  $\pi$ , которое будет использовано при расчётах?

**НАУЧНАЯ СПРАВКА.** Число  $\pi$  (пи) — математическая константа, которая выражает отношение длины окружности к её диаметру. Она равна приблизительно 3,141592653589793238462643... Обозначение этого числа буквой  $\pi$  впервые появилось в 1706 г. в работе английского математика Уильяма Джона, а чуть позже его использовал выдающийся швейцарский, немецкий и российский математик Леонард Эйлер в своих работах, получивших мировое признание. Известно, что древнегреческий математик Архимед не только нашёл приближённое значение  $\pi = 22/7$ , но и установил точность этого приближения.

#### Этапы выполнения задания

1) Запишите измеренное значение диаметра окружности с учётом погрешности измерения:

- линейкой;
- штангенциркулем.

2) Найдите длину окружности, используя в качестве значений числа  $\pi$ :

- $\pi = 3$ ;
- $\pi = 3,1$ ;
- $\pi = 3,14$ ;
- $\pi = 3,1415$ .

3) Запишите найденные значения с учётом погрешности измерений.

4) Обсудите полученные результаты.

## ПОДВЕДЁМ ИТОГИ

- Физика — наука о природе, изучающая физические тела, явления и законы, которым они подчиняются.
- В природе происходят самые разнообразные явления, которые можно разделить на механические, тепловые, электромагнитные и световые.
- Всё то, из чего состоят физические тела, называют веществом. Вещество состоит из атомов.
- Материей называют всё то, что существует во Вселенной независимо от нашего сознания. Понятия материи и движения неразделимы.
- Знание обычно рождается в результате следующей последовательности шагов: наблюдение → гипотеза → эксперимент → вывод.
- Для того чтобы зафиксировать основные единицы физических величин, была создана Международная система единиц (СИ).
- Штрихи и подписанные значения физической величины образуют шкалу прибора. Промежуток между двумя соседними штрихами называется делением шкалы. Значение физической величины, соответствующее самому маленькому делению, называется ценой деления шкалы прибора.
- Для записи больших и малых чисел используют степени числа 10.

## Вопросы для обсуждения

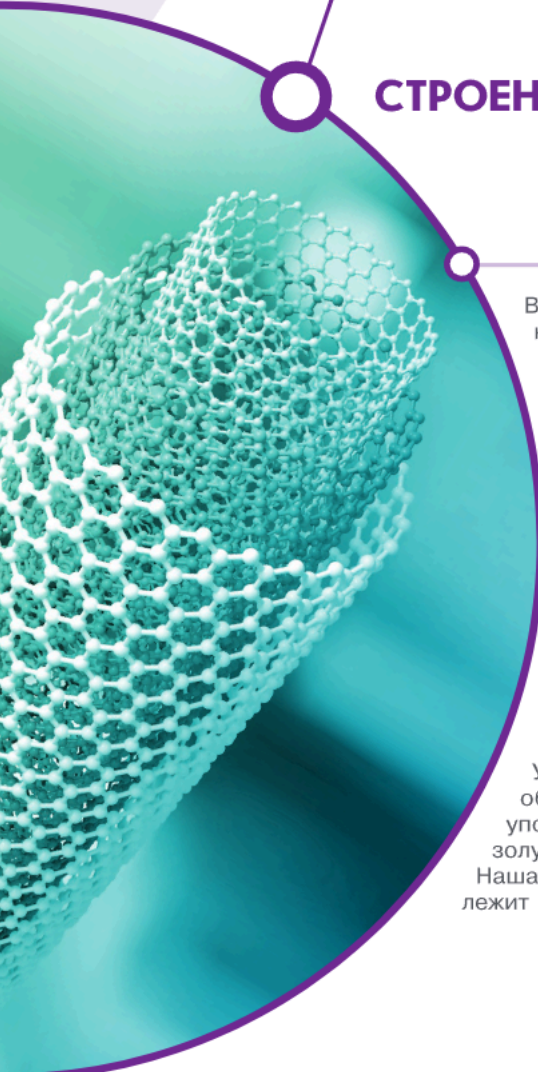
- ❓ Можно ли получить новое знание, ограничиваясь только процессом наблюдения?
- ❓ Проследите за процессом испарения воды, налитой в стакан, в двух опытах:
  - а) стакан установлен в прохладном месте;
  - б) стакан установлен вблизи горячей батареи отопления.
 Какой главный вывод вы сделаете?

## Темы исследовательских и проектных работ

- Великие учёные древности.
- Как люди открывали Землю.
- Старинные и современные единицы физических величин в разных странах мира.
- История развития международных эталонов физических величин.
- Аналоговые и цифровые измерительные приборы. История развития и область применения.
- Изучение объектов микромира.
- Как расширялись границы макромира.
- Четыре измерения. Современные теории и представления.
- Ошибки измерений.
- Инструменты для измерения длины. От древности до наших дней.
- Инструменты для измерения времени. От древности до наших дней.
- История хронометра.
- Удивительный измерительный прибор — астролябия.

# Глава 2

## СТРОЕНИЕ ВЕЩЕСТВА



Все тела состоят из атомов — маленьких телец, которые находятся в непрерывном движении, притягиваются на небольшом расстоянии, но отталкиваются, если одно из них плотнее прижать к другому.

*Р. Фейнман*

Уголь и алмазы, песок и чипы компьютера, рак и здоровая ткань: на всём протяжении истории, вариации в упорядочении атомов различили дешевое от драгоценного, больное от здорового. Упорядоченные одним образом, атомы составляют почву, воздух и воду; упорядоченные другим, они составляют спелую землянику. Упорядоченные одним образом, образуют дома и свежий воздух; упорядоченные другим, они образуют золу и дым.

Наша способность упорядочивать атомы лежит в основе технологии.

*Э. Дрекслер*



# §11 СТРОЕНИЕ ВЕЩЕСТВА

## НОВОЕ В УРОКЕ

- Как можно экспериментально подтвердить, что вещество состоит из мельчайших частиц.

## ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Из чего состоит вещество?
- Каким образом мы получаем знания о явлениях природы?

Если бы мы захотели в одной короткой фразе передать самое важное научное достижение нашей цивилизации, то что бы мы сказали? Выдающийся физик XX в. Ричард Фейнман на этот вопрос отвечал так: «Это должна была бы быть фраза о том, что все тела состоят из атомов».

**ЗАЧЕМ НУЖНО ЗНАТЬ, ИЗ ЧЕГО СОСТОИТ ВЕЩЕСТВО.** Людей на протяжении всей истории человечества интересовало не только наблюдение и описание физических явлений окружающего мира, но и понимание причины происходящего. Почему пролитая вода растекается, а просыпанный песок ведёт себя совершенно по-другому? Почему тёплый кусок пластилина легче сжать в руке, чем холодный? Ответ на подобные вопросы можно дать, понимая, из чего состоит вещество.

Ещё в Древней Греции в V в. до н. э. Демокрит выдвинул гипотезу о том, что вещество состоит из мельчайших частичек (атомов) и пустот между ними. В научную теорию эта гипотеза превратилась лишь в XVIII—XX вв. Благодаря этой теории можно не только объяснить огромное разнообразие явлений окружающего нас мира, но и предсказать, как то или иное явление будет развиваться во времени. Эти знания помогают человечеству создавать новые материалы и технологии, используемые в современной технике, в медицине и в быту.

**ЯВЛЕНИЯ И ОПЫТЫ, ПОЗВОЛЯЮЩИЕ ДЕЛАТЬ ВЫВОДЫ О СТРОЕНИИ ВЕЩЕСТВА.** Если бы мы смогли рассмотреть окружающие нас тела через специальный микроскоп с увеличением в миллиарды раз, то увидели бы отдельные атомы и молекулы.

Многие примеры подтверждают то, что все вещества состоят из мельчайших частичек. Кажущийся сплошным кусочек резины, из которого сделан обычный воздушный шарик, легко растягивается руками и изменяет свой размер, становясь тоньше. Приложив некоторое механическое усилие, можно также изменить форму куска глины. Форма тела меняется из-за изменения взаимного расположения частичек, из которых оно состоит. Объём тела может изменяться вследствие того, что меняются расстояния между этими частичками.

Опыты показывают, что при нагревании объём тела увеличивается, а при охлаждении — уменьшается. Чем можно объяснить изменение объёма тела? Дело в том, что все вещества состоят из отдельных частиц, между которыми есть промежутки. С изменением температуры промежутки между частицами вещества изменяются, поэтому изменяется и объём тела.

## ИССЛЕДОВАНИЕ

Рассмотрим следующий опыт. Стальной шарик в холодном состоянии свободно проходит через кольцо. Если шарик нагреть, то он расширяется и застревает в кольце.

Через некоторое время шарик, остыв, уменьшается, а кольцо, нагревшись от шарика, расширяется, и шарик вновь проходит сквозь кольцо.



При нагревании расширяются не только твёрдые тела, но и жидкости. Это можно увидеть на следующем опыте.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ

На штативе закреплена колба с водой. Колба закрыта пробкой, через которую в сосуд опущена стеклянная трубочка. Уровень воды в трубочке немного выше уровня воды в колбе. Зафиксируем уровень воды в трубочке. С помощью спиртовки будем нагревать колбу с водой. Заметим, что по мере нагревания колбы уровень воды в трубочке повышается. Опыт доказывает, что при нагревании жидкости расширяются.



Свойство тел изменять свой объём при изменении температуры важно учитывать при конструировании и строительстве инженерных сооружений. Провода на линиях электропередачи между опорами натягивают не слишком туго, они обычно слегка провисают. Это делают для того, чтобы зимой, когда провода укорачиваются при охлаждении, не возникало разрывов. Рельсы железнодорожного пути не примыкают друг к другу вплотную, между их стыками оставляют небольшие промежутки. При несоблюдении этого условия возможно искривление рельсов в жаркую погоду. Чтобы перепады температур не приводили к повреждению мостов, мосты собирают из нескольких секций. При сооружении трубопроводов их снабжают компенсаторами в виде изгибов.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ

Рассмотрим опыт. В мензурку, содержащую 100 мл воды, добавим ещё 100 мл воды. Полученный объём составит 200 мл. Теперь в мензурку нальём 100 мл воды и 100 мл спирта. Объём смеси получится не 200 мл, а меньше, так как при слиянии жидкостей их частицы перемешиваются и более мелкие частицы воды размещаются в промежутках между более крупными частицами спирта. Заполнение данных промежутков и способствует уменьшению суммарного объёма этих жидкостей.

Частицы, из которых состоит вещество, очень малы. Число атомов, которое содержится даже в самом маленьком кусочке вещества, превышает миллиард в десятки тысяч миллиардов раз. Так, в капельке воды число таких частичек достигает  $10^{22}$ .

### ИССЛЕДОВАНИЕ

Чтобы убедиться в том, что частицы вещества малы и даже в маленьком объёме вещества содержится их огромное количество, проведём опыт. В сосуде с водой растворим несколько кристалликов марганцовки. Через некоторое время вода в нём окрасится в малиновый цвет. Отольём немного подкрашенной воды в другой сосуд и долъём в него чистую воду. Получившийся раствор будет окрашен слабее, чем первоначальный. Проведём такие переливания несколько раз. Таким образом в последнем сосуде получим слабо окрашенную жидкость. Несмотря на небольшое количество марганцовки в первом сосуде, малая её часть попала и в последний сосуд. Это свидетельствует о том, что даже кристаллик марганцовки состоит из огромного числа мельчайших частичек.

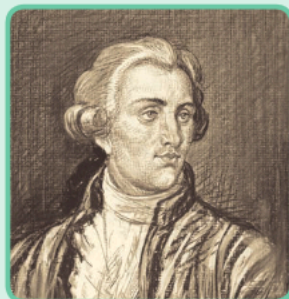


Эти и многие другие явления и опыты подтверждают гипотезу: **все тела состоят из очень маленьких частиц, между которыми есть промежутки.**

### ЭТО ИНТЕРЕСНО

Основатель современной химии А. Лавуазье в 1789 г. опубликовал труд «Методы наименования химических элементов», в котором изложил теорию элементов как строительных блоков в химии.

Почти двадцать лет спустя английский учёный Д. Дальтон написал, что все химические реакции являются результатом соединения или разъединения атомов. Интересно, что именно он ввёл в науку понятие «атомный вес» и первым определил атомные веса (массы) ряда элементов.



Антуан Лоран Лавуазье  
(1743—1794)



Джон Дальтон  
(1766—1844)



Проведите следующий эксперимент.

**ПОМОЩНИК.** В прозрачный стакан налейте примерно 100 мл воды. Маркером отметьте начальный уровень воды в стакане. Поставьте стакан с водой в морозильную камеру. Подождите, пока вода в стакане полностью замёрзнет. Выньте стакан из морозильной камеры и сравните уровень замёрзшей воды с первоначальным уровнем. Изменился ли он? Объясните явление.

- ❗ Все вещества состоят из мельчайших частиц, между которыми есть промежутки.
- ❗ При нагревании все вещества расширяются. С изменением температуры изменяются промежутки между частицами вещества, поэтому изменяется и объём тела.

Строение вещества; опыты, свидетельствующие о существовании мельчайших частиц вещества и промежутков между ними

**ВЫВОДЫ****КЛЮЧЕВЫЕ  
СЛОВА****И ВОПРОСЫ  
ЗАДАНИЯ**

1. Из чего состоит вещество?
2. Какие опыты подтверждают гипотезу о том, что вещество состоит из мельчайших частиц?
3. Какой опыт, подтверждающий, что между атомами вещества имеются промежутки, вы можете предложить провести?
4. Длина столбика ртути в трубке комнатного термометра увеличилась. Увеличилось ли при этом число молекул ртути? Изменился ли объём каждой молекулы ртути в термометре? Объясните свои ответы.
5. Под действием груза резиновый шнур удлинился. Изменилась ли при этом форма молекул? Ответ поясните.
6. Можно ли сказать, что объём газа в сосуде равен сумме объёмов всех молекул газа в сосуде? Ответ обоснуйте.

# §12 МОЛЕКУЛЫ И АТОМЫ

## НОВОЕ В УРОКЕ

- Каковы размеры молекул и атомов.
- Как можно «увидеть» молекулы и атомы.

## ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Из чего состоит вещество?

Атомы — это те «кирпичики» материи, из которых построен окружающий нас мир. Современная наука утверждает, что всего в природе существует 92 различных атома, ещё около 25 атомов новых элементов учёные искусственно создали в своих лабораториях. Все атомы систематизированы на основе периодического закона, открытого Д. И. Менделеевым.



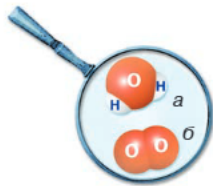
Дмитрий Иванович Менделеев (1834—1907)

**МОЛЕКУЛЫ.** В отличие от сравнительно небольшого количества различных атомов, входящих в таблицу Д. И. Менделеева, нас окружает огромное множество разнообразных веществ. Так же как из строительных материалов: кирпича, дерева, стекла, металла — можно построить множество различных зданий, так и атомы соединяются в более сложные системы — молекулы.

Например, молекула воды (рис. а) состоит из трёх атомов: двух атомов водорода и одного атома кислорода. Названия различных атомов принято обозначать латинскими буквами. Из курса

химии вы узнаете, что воду обозначают символами  $H_2O$ . Здесь  $H$  — атом водорода,  $O$  — атом кислорода. Молекула кислорода (рис. б) состоит из двух одинаковых атомов кислорода и обозначается  $O_2$ .

Молекулы одного вещества одинаковы. Например, молекула воды всегда одна и та же: и в воде, и в снежинке, и в паре.



Мир молекул и атомов очень разнообразен. Если размер самых маленьких молекул имеет порядок  $10^{-10}$  м, то крупные молекулы могут достигать микрометров ( $10^{-6}$  м). Примерами таких молекул являются *белки* — молекулы живой природы, которые состоят из огромного числа атомов.

**РАЗМЕРЫ МОЛЕКУЛ.** Молекулы очень малы. В разное время для определения размера молекул ставились разнообразные эксперименты. Один из них провёл английский учёный Дж. Рэлей.

1890 ИСТОРИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

В чистый широкий сосуд наливают воду и на её поверхность помещают каплю оливкового масла. Капля растекается по поверхности воды, и образуется круглая плёнка. Постепенно площадь поверхности плёнки увеличивается, но затем растекание прекращается и площадь поверхности больше не изменяется. Рэлей предположил, что молекулы масла в этом опыте располагаются в один слой, т. е. толщина плёнки совпадает с размером одной молекулы. Толщина плёнки (или диаметр молекулы) в данном случае равна отношению объёма  $V$  капли к площади  $S$  поверхности плёнки.

Учитывая опытные данные, получаем

$$d = \frac{V}{S} = \frac{0,0009 \text{ см}^3}{5500 \text{ см}^2} = 0,00000016 \text{ см} = 1,6 \cdot 10^{-9} \text{ м}.$$

Значение размера молекулы, полученное Рэлеем, является не точным измерением, а оценкой. По современным данным, типичный размер молекулы масла составляет около  $5 \cdot 10^{-10}$  м. Таким образом, в описываемом опыте в толщине плёнки масла содержится примерно три молекулярных слоя.



Джон Уильям Стретт  
Лорд Рэлей  
(1842—1919)



Когда говорят о размерах молекул или атомов, то в качестве единицы длины часто используют не метр, а ангстрем (обозначается Å), равный  $10^{-10}$  м, или нанометр, равный  $10^{-9}$  м. Например, размер молекулы воды равен примерно трём ангстремам ( $3 \text{ Å}$ ), а размер атома золота равен примерно одному ангстрему ( $1 \text{ Å}$ ).

**МАССЫ МОЛЕКУЛ.** Массы отдельных молекул и атомов также очень малы. Простейшие молекулы (не многоатомные) имеют массу порядка  $10^{-26}$  кг. Известно, что в капле воды массой 1 г содержится примерно  $3,3 \cdot 10^{22}$  молекул. Следовательно, масса одной молекулы воды

$$m = \frac{1 \text{ г}}{3,3 \cdot 10^{22}} = 3 \cdot 10^{-23} \text{ г} = 3 \cdot 10^{-26} \text{ кг}.$$

**СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ НАБЛЮДЕНИЯ МОЛЕКУЛ И АТОМОВ.** Из-за очень малых размеров молекулы нельзя увидеть невооружённым глазом или в обычные микроскопы. Только при помощи электронного микроскопа удалось сфотографировать наиболее крупные из них.

Сами атомы также не являются неделимыми частицами. Современные технологии позволяют расщеплять атомы и создавать новые элементы.




На специальном оборудовании можно получить листки золота толщиной менее 0,01 мкм, или  $10^{-8}$  м. Но даже у такого тонкого листка количество атомных слоёв составляет порядка сотни.



Для исследования структуры вещества широко используются электронные микроскопы и ионные проекторы. Ионные проекторы особенно удобны для изучения структуры кристаллических тел. Исследуемый кристалл в виде тончайшей иглы с радиусом закругления порядка  $0,1 \text{ мкм}$  помещается в прочную стеклянную колбу, которая заполняется разреженным водородом или гелием. Перед остриём располагается специальный экран, который может светиться в результате его бомбардировки заряженными частицами. Между остриём и экраном создаётся высокое напряжение. Атомы гелия, находящиеся вблизи поверхности острия, под действием мощных электрических сил теряют электроны и превращаются в положительно заряженные ионы. Ионы бомбардируют экран и создают на нём сильно увеличенное изображение поверхности острия. Увеличение современных ионных проекторов достигает значений  $(5-10) \cdot 10^6$ , что превышает увеличение электронных микроскопов.

Не только наблюдать, но и передвигать отдельные атомы, составлять из них картинки стало возможным после создания специального устройства — *сканирующего туннельного микроскопа*. Принцип действия этого микроскопа основан на использовании законов квантовой физики.

## ВЫВОДЫ

-  Атомы — это те «кирпичики» материи, из которых построен окружающий нас мир.
-  Атомы соединяются в более сложные системы — молекулы.
-  Размеры молекул и атомов очень малы.

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Молекулы; атомы; размеры молекул и атомов; электронный микроскоп

## ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. С помощью какого опыта можно определить размер молекул?
2. Как вы думаете, является ли результат опыта Рэля точным?
3. В чём разница между молекулой и атомом? Каков состав молекулы воды?
4. Из каких атомов состоит молекула углекислого газа, если её химическая формула имеет вид  $\text{CO}_2$ ?



- Размеры атомов и молекул.
- Сравнение чисел, порядки величин.



# НАНОТЕХНОЛОГИИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ §13

## НОВОЕ В УРОКЕ

Человечество подошло к новой эре — эре нанотехнологий. Ещё в 1959 г. Ричард Фейнман говорил, что можно создать мини-машины, которые будут делать ещё меньшие микромашины, а те, в свою очередь, будут делать ещё меньшие устройства, с помощью которых можно манипулировать отдельными атомами.

- Что такое нанотехнологии.
- Какие созданы современные наноматериалы и где они применяются.

## ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Из чего состоит вещество?

**НАНОТЕХНОЛОГИИ.** Нанотехнологии — это сфера знаний, позволяющая управлять процессами в области очень маленьких размеров — порядка *нанометра* (нм):  $1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$ .

## ЭТО ИНТЕРЕСНО

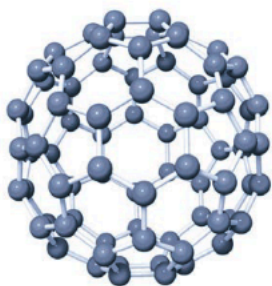
Достаточно трудно представить, насколько мал нанометр. Например, 10 атомов водорода, расположенных вплотную друг к другу, имеют размер 1 нм; молекула ДНК имеет диаметр 2,5 нм; диаметр человеческого волоса 60 000—100 000 нм; ноготь человека в среднем растёт на 1 нм в секунду. Если бы человек стал размером 1 нм, то все тела на нашей планете могли бы поместиться в спичечный коробок.

Впервые термин «нанотехнология» употребил в 1974 г. японский физик Н. Танигучи.

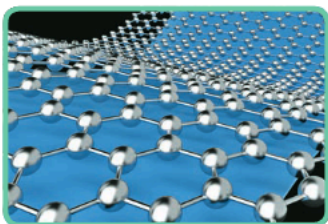
Нанотехнологии занимаются объектами, или, как их называют, *наночастицами*, с размерами от 1 до 100 нм. Было замечено, что отдельные наночастицы, как правило, обладают качественно новыми физическими, химическими и биологическими свойствами, отличными от свойств самого вещества. Например, наночастицы золота размером 5—10 нм плавятся при температуре около 700 °С, а золото в слитках — при температуре около 1000 °С.

**НАНОМАТЕРИАЛЫ.** Физики в настоящее время научились работать с отдельными наночастицами и создавать на их основе *наноматериалы*, обладающие полезными свойствами. Для создания наноматериалов широко используются атомы углерода. Углерод — особенный элемент, его атомы могут соединяться друг с другом в цепочки, образуя различные структуры. Например, алмаз и графит, которые встречаются в природе, состоят из атомов углерода. Но из-за различия в атомном строении они обладают различными свойствами. Из атомов углерода можно построить такие наноструктуры, как *фуллерены*, *углеродные нанотрубки*, *нановолокна*, *графены* и др.

Фуллерен получил своё название в честь архитектора Б. Фуллера, придумавшего подобные структуры для использования их в архитектуре.



Фуллерен внешне напоминает футбольный мяч, который состоит из заплаток пяти- и шестиугольной формы. Если представить, что в вершинах этого многогранника находятся 60 атомов углерода, то получится самый стабильный фуллерен  $C_{60}$  (атом углерода обозначают буквой  $C$ ). Учёные создали молекулы фуллеренов, которые содержат от 20 до 540 атомов углерода. Удивительные свойства молекул фуллерена, связанные с их структурой и прочностью, позволили использовать их для решения самых разных практических задач в технике и медицине.

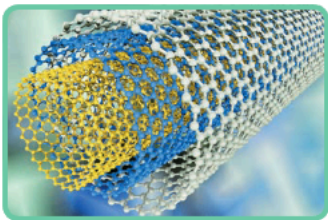


Графен представляет собой один слой атомов углерода, расположенных в вершинах связанных шестиугольников с общими сторонами. Графен обладает многими удивительными свойствами. Это самое тонкое соединение, известное человеку. Оно имеет толщину, соответствующую размеру одного атома. Графен — самый лёгкий из известных материалов и одновременно самый прочный, он в 100—300 раз прочнее стали.



Один из первых методов получения графена был предложен в 2004 г. учёными из России Андреем Геймом и Константином Новосёловым, которые за свои открытия в 2010 г. получили Нобелевскую премию по физике.

Получить кусочки графена можно, используя скотч и простой карандаш (графит). Графит — это слоистый материал. Если графит налепить на скотч и затем сломать скотч и развернуть, можно отделить слои графита друг от друга. Повторяя процедуру несколько раз, можно получать слои графита всё тоньше и тоньше. В результате может получиться один атомный слой вещества, это и будет графен. (Конечно, увидеть один атомный слой можно только с помощью электронного микроскопа.)



Углеродные нанотрубки представляют собой цилиндрические молекулы, которые состоят из свёрнутых в трубку одного или нескольких листов графена. Диаметр углеродных трубок может быть от десятых до нескольких десятков нанометров, а длина может достигать от одного микрометра до нескольких сантиметров. Углеродные нанотрубки обладают высокой прочностью. Они могут быть использованы для создания

сверхпрочных микроскопических нитей и тросов, применяемых в автомобильной промышленности, авиации, а также в нанoeлектронике и компьютерной индустрии.

**ПРИМЕНЕНИЕ НАНОМАТЕРИАЛОВ.** Ожидается, что нанотехнологии позволят решить многие важные для человечества задачи. Уже сейчас наноматериалы используются в самых разных областях промышленности.

#### ФИЗИКА В ЖИЗНИ

Использование наноматериалов в электронной и компьютерной промышленности позволит повысить точность построения электронных схем на атомном уровне. В космической отрасли компоненты космических кораблей и ракетных двигателей, изготовленные из наноматериалов, являются более прочными и могут работать при более высоких температурах и скоростях. В медицине наноматериалы используются как средство доставки лекарств к поражённым органам, а также в качестве лекарственных средств и имплантатов. На основе наноматериалов разработаны технологии самоочищающихся и самовосстанавливающихся покрытий, которые используются не только в технике, но и в быту.

Особые перспективы применения наноматериалов открываются в области создания новых источников электропитания, например аккумуляторных батарей, способных накапливать большой запас электрической энергии. Также разрабатываются методики напыления на гибкие материалы солнечных фотоэлементов, изготавливаемых с применением нанотехнологий. На сегодняшний день, по-видимому, это один из самых перспективных путей увеличения коэффициента полезного действия солнечных батарей.



- ! Нанотехнологии — это сфера знаний, позволяющая управлять процессами в области очень маленьких размеров — порядка 1 нм ( $10^{-9}$  м). Нанотехнологии занимаются наночастицами, размеры которых составляют от 1 до 100 нм.
- ! Физики в настоящее время научились работать с отдельными наночастицами и создавать на их основе наноматериалы, обладающие полезными свойствами.

#### ВЫВОДЫ

Нанотехнологии; наночастица; нанометр; наноматериалы; фуллерен; графен; углеродная нанотрубка

#### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

#### И ВОПРОСЫ ЗАДАНИЯ

1. Что такое нанотехнологии?
2. Какие размеры имеют наночастицы?
3. Чем различаются углеродные наноструктуры?
4. Предположите, какие проблемы могут возникнуть в связи с использованием нанотехнологий в нашей жизни.

# §14 БРОУНОВСКОЕ ДВИЖЕНИЕ. ДИФфуЗИЯ

## НОВОЕ В УРОКЕ

- Что такое броуновское движение.
- Что такое диффузия.
- Как скорость диффузии зависит от температуры.

## ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое молекулы и атомы?
- Каковы размеры молекул и атомов?

Молекулы и атомы представляют собой те «кирпичики», из которых состоят тела из окружающего нас мира. Опыты показывают, что эти частицы находятся в постоянном движении, которое не может быть обнаружено каким-либо прямым наблюдением: это явление нельзя увидеть ни в лупу, ни в микроскоп. Однако убедиться, что молекулы движутся, можно косвенным образом, т. е. увидеть не само движение молекул, а результат этого движения.

**ОПЫТ Р. БРОУНА.** К числу основных опытных доказательств того, что частицы вещества находятся в непрерывном хаотическом движении, относится явление, которое впервые наблюдал английский ботаник Роберт Броун.

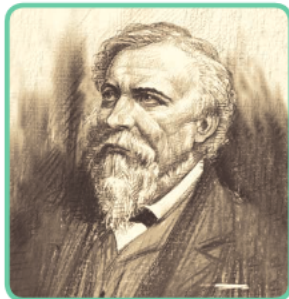
## 1827 ИСТОРИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

В 1827 г. Р. Броун, занимаясь изучением поведения цветочной пыльцы в жидкости под микроскопом (он изучал водную взвесь пыльцы растения *Clarkia pulchella*), неожиданно обнаружил очень необычное явление. Частицы пыльцы хаотично двигались без видимых на то причин. Броун наблюдал это явление несколько дней, однако так и не смог дождаться его прекращения. Также он установил, что хаотичное движение частиц пыльцы в воде не связано ни с потоками в жидкости, ни с её испарением. Сначала Броун решил, что в поле микроскопа попали некие живые существа, однако так же вели себя и частички мёртвых растений, засушенных задолго до этого в гербариях.

Броун провёл опыты с мельчайшими частичками угля, сажи, стекла и различных минералов. Он наблюдал беспорядочное движение всех частичек в воде. Описав характер движения частиц, Броун вынужден был признать, что он не знает объяснения этого процесса.

Впоследствии это явление назвали броуновским движением.

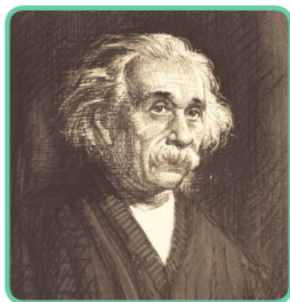
**ПРИЧИНЫ БРОУНОВСКОГО ДВИЖЕНИЯ.** Впервые чёткое объяснение броуновского движения дал в 1905 г. польский физик Мариан Смолуховский. Одновременно теорию этого явления разрабатывал Альберт Эйнштейн, осознавая, что оно служит экспериментальным подтверждением атомной теории строения веществ.



**Роберт Броун**  
(1773—1858)

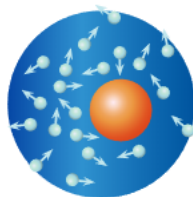


Мариан Смолюховский  
(1872—1917)



Альберт Эйнштейн  
(1879—1955)

Эйнштейн объяснил, что взвешенная в воде пыльца подвергается постоянной «бомбардировке» со стороны молекул воды. Удары молекул в частицы пыльцы с разных сторон и приводят к скачкообразным перемещениям, которые Броун наблюдал в микроскоп. А поскольку молекулы в микроскоп не видны, то движение пыльцы казалось Броуну беспричинным.



## ДИФфуЗИЯ

В сосуд с водой бросим несколько кристалликов марганцовки. Они опустятся на дно сосуда, и вокруг них образуется облачко окрашенной воды. Постепенно окрашивание воды произойдёт во всём сосуде.

Аналогичное явление можно наблюдать и на другом опыте. Если удалить разделяющую перегородку между сосудами, в нижнем из которых находятся пары брома, а в верхнем — воздух, то спустя некоторое время они полностью перемешаются между собой.

## ИССЛЕДОВАНИЕ



Модель явления диффузии паров двух веществ представлена на рисунках. Наблюдаемое явление объясняется тем, что молекулы этих двух газов, расположенные вблизи границы раздела, меняются местами. Двигаясь непрерывно и беспорядочно, молекулы газов постепенно распространяются по всему объёму. Смесь газов в сосуде становится однородной.



**ВАЖНО** !

Явление, при котором происходит взаимное проникновение молекул одного вещества между молекулами другого, называется **диффузией**.



**Причиной диффузии является непрерывное и беспорядочное движение частиц вещества.**

Наиболее быстро диффузия происходит в газах, медленнее — в жидкостях, а в твёрдых телах — совсем медленно, годами.

Таким образом, диффузия является ещё одним проявлением движения молекул. Известен опыт, в котором гладко отшлифованные пластинки свинца и золота пролежали друг на друге 5 лет, сдавленные грузом. За это время золото и свинец проникли друг в друга на расстояние около 1 мм.

**ДИФфузия и температура тела.** Процесс диффузии ускоряется с повышением температуры. Это происходит потому, что с повышением температуры увеличивается скорость движения молекул. Чем выше температура вещества, тем быстрее происходит диффузия. Например, всем нам хорошо знакомы такие примеры диффузии, как растворение сахара или заварки чая в воде. Эти процессы в горячей воде идут намного быстрее, чем в холодной.

**ДИФфузия в жизни человека, животных и растений.** Диффузия играет огромную роль в нашей жизни. Кислород и другие питательные вещества попадают в клетки живого организма в том числе благодаря процессам диффузии. Например, существует так называемое кожное дыхание, при котором человеческий организм получает от 2 до 5 % необходимого ему кислорода.

**ФИЗИКА в ЖИЗНИ**

Диффузия является одной из причин распространения вредных веществ в окружающей среде. Хотя нужно понимать, что основную роль в распространении вредных веществ в атмосфере и водоёмах играет движение потоков воздуха или воды. Тем не менее ролью диффузии нельзя пренебрегать.



В настоящее время одной из важных проблем человечества является дефицит питьевой пресной воды. Одним из методов очистки сточных вод и опреснения солёных вод является применение полупроницаемых мембран. Этот метод основан на одном из видов диффузии, когда два вещества разделены полупроницаемой перегородкой (мембраной). В этом случае диффузия протекает только в одном направлении. Такое явление называется **осмосом**. Впервые явление осмоса наблюдал французский химик Жан-Антуан Нолле в 1748 г.



Исследуйте, как диффузия в жидкости зависит от температуры.

**ПОМОЩНИК.** Вам понадобятся 3 прозрачных стакана, вода и 3 пакетика с чёрным чаем.

В один стакан налейте горячую воду, во второй стакан — воду комнатной температуры, в третий стакан — охлаждённую воду.

В каждый стакан опустите пакетик чая.

Наблюдайте за процессом заваривания чая в стаканах. Сравните скорости протекания диффузии при разных температурах.

Сделайте вывод.



Частицы вещества находятся в непрерывном хаотическом движении.



Броуновское движение частиц объясняется ударами молекул вещества, в котором находятся частицы.



Явление, при котором происходит взаимное проникновение молекул одного вещества между молекулами другого, называется **диффузией**. Процесс диффузии ускоряется с повышением температуры, так как с повышением температуры увеличивается скорость движения молекул.

## ВЫВОДЫ

Броуновское движение; диффузия

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

## И ВОПРОСЫ ЗАДАНИЯ

1. Каковы причины броуновского движения?
2. Что является причиной диффузии?
3. В тёплом или холодном помещении запах духов распространяется быстрее? Объясните свой ответ.
4. Что происходит с молекулами при нагревании тела? Можно ли нагреть одну молекулу?
5. Почему не рекомендуется хранить в холодильнике рядом с молочными продуктами сельдь или нарезанный лук?
6. Почему в помещении, в котором курят, одежда и вещи пахнут дымом?
7. Запах горячего или холодного кофе является более сильным и распространяется быстрее?



- Всасывание питательных веществ в кровь и их поступление из крови в различные ткани.
- Распространение вредных веществ в окружающей среде.



# § 15 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИФFUЗИИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

## НОВОЕ В УРОКЕ

- Как использование диффузии помогает сохранить продукты питания.
- Как используют диффузию для обработки кожи и древесины.
- Как используют диффузию для обработки материалов.
- Что такое диффузионная сварка.

## ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое диффузия?

С древних времён люди научились использовать диффузию для решения различных практических задач, связанных с хранением продуктов питания и обработкой материалов. В наши дни диффузия также используется и в различных технологических процессах, и в технических устройствах, и в медицине.

**ХРАНЕНИЕ ПРОДУКТОВ.** Наши далёкие предки не имели возможности добывать себе пищу каждый день. Поэтому одной из главных задач выживания было умение запасать пищу впрок и таким образом, чтобы она не портилась. Были изобретены способы длительного сохранения продуктов, которыми люди пользуются и по сей день.

Почему продукты портятся? В них размножаются микроорганизмы — бактерии, плесени и дрожжи, которые не только питаются этими продуктами, но и выделяют различные токсичные вещества: кислоты, пахучие газы, ядовитые химические соединения. Именно поэтому испорченные продукты имеют специфический запах и их нельзя употреблять в пищу. В течение тысячелетий люди используют соль для длительного сохранения мяса, рыбы и овощей пригодными к употреблению.

## ФИЗИКА В ЖИЗНИ

Процессы соления и маринования основаны на явлении диффузии. Мясо и рыбу натирают солью, а овощи, например огурцы или помидоры, помещают в раствор соли или маринад. В результате диффузии продукты пропитываются раствором соли или маринада, что предотвращает размножение бактерий и микроорганизмов, которые в них находятся.

Ещё одним способом хранения продуктов является консервирование. Для этого ёмкости с продуктами доводят до кипения и герметично закрывают. При таком способе обработки продуктов они могут длительное время храниться не портясь. Почему? Микроорганизмы, находящиеся в продуктах, погибают при высоких температурах, а герметичная упаковка препятствует процессу диффузии с окружающей средой, в результате чего никакие новые микроорганизмы в продукты не проникают.

Изобретателем консервов считается французский повар Н. Аппер. В конце XIX в. он предложил способ сохранения растительных и мясных припасов. Для этого продукты закупоривали в стеклянные банки, а затем 2—3 часа кипятили в солёной воде. Такие консервы использовали в военных походах Наполеона Бонапарта, когда нужно было кормить большое количество солдат. Путешественники, участвовавшие в первой русской антарктической экспедиции (1819—1821), питались консервами, изготовленными в Англии.

В 1825 г. в США был запатентован способ консервирования в жестяных банках. А в 1858 г. изобрели консервный нож.

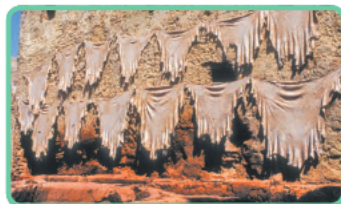
**ВЫДЕЛКА КОЖИ.** Одним из материалов, который люди с древности применяли для различных целей, является кожа животных. Её использовали для изготовления одежды и обуви, для обивки жилищ, для изготовления седел и конной упряжи. В древности из кожи делали даже щиты и латы. Однако в обычных условиях необработанные шкуры животных быстро портились, поэтому люди научились их выделывать, выскабливать и высушивать.



Так появилось кожевенное ремесло. Люди заметили, что шкуры не так быстро портятся, если высушить их на солнце или пропитать дымом от костра. Но шкуры, высушенные на солнце, становились очень твёрдыми, «дубовыми», из них сложно было изготавливать одежду. Шкуры смягчали, натирая их жиром. Кроме того, шкуры опускали в воду с листьями, ветками, корой некоторых деревьев (дуба, каштана, акаций и др.). Эти растения содержат активные вещества — *танины*. Проникая в кожу, танины предотвращают процессы разложения. Шкуры после такой обработки становились мягче и не портились. Таким образом, первыми способами дубления кожи была обработка танинами или веществами, содержащимися в дыму костра.

### ФИЗИКА В ЖИЗНИ

В современном производстве кожи при дублении используют не только растительные, но и минеральные (соединения хрома, алюминия, титана) вещества и различные жиры. При дублении происходит диффузия молекул дубящих веществ в клетки кожи животного. После дубления кожа становится пластичной и достаточно прочной.



Широко известно применение кожи в качестве материала для письма до изобретения бумаги. Для получения пергамента кожу животного высушивали на специальной раме. В Древней Греции пергамент получали из кожи, обработанной мелом или известью. Из кожи также делали и переплёты для книг.

**ОБРАБОТКА ДРЕВСИНЫ.** Люди с глубокой древности используют древесину для постройки жилищ, мостов и других сооружений. Из древесины делают мебель, кухонную утварь и многое другое. Древесина служила основным строительным материалом для лодок и кораблей. Но использование древесины сопряжено с определёнными трудностями — без специальной обработки дерево начинает гнить и разрушаться. Кроме того, дерево хорошо горит, поэтому всегда существует опасность пожара для

деревянных сооружений. Искусство обработки древесины люди совершенствовали в течение тысячелетий, ведь все морские путешествия и Великие географические открытия были совершены на деревянных судах. Первая железная баржа была построена только в конце XVIII в., а первое железное морское судно — в середине XIX в.

Историки установили, что уже за несколько столетий до нашей эры древние греки смолили корабли внутри и снаружи. Смола в процессе диффузии проникает во внутреннюю структуру дерева. Чем больше глубина проникновения смолы в дерево, тем лучше оно будет защищено от влаги. Греческий учёный Геродот (IV в. до н. э.) писал об искусстве извлечения различных масел и смол и применения их для пропитки древесины. А в Древнем Китае, прежде чем использовать древесину как строительный материал, её выдерживали в морской воде с высоким содержанием солей.

### ФИЗИКА В ЖИЗНИ

Для защиты древесины от гниения в разные эпохи, помимо смолы и масел, использовали также различные химические соединения. В наши дни для пропитки древесины используют различные масла, искусственные смолы, антисептики, которые защищают дерево не только от гниения, но и от плесени, возгорания и поражения насекомыми.

**ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТЕЙ МАТЕРИАЛОВ.** На явлении диффузии основаны процессы обработки поверхностей различных материалов.



Для придания поверхностям материалов дополнительной прочности и защиты от коррозии применяют металлизацию поверхностей. Для этого на поверхность путём распыления наносят расплавленный металл. Мельчайшие частицы металла тонкой плёнкой покрывают и заполняют неровности на покрываемой поверхности. Таким образом можно обрабатывать неметаллические (стекло, бетон, пластмасса) и металлические поверхности. На металлические поверхности, например на сталь, наносят более твёрдые материалы: алюминий, хром, цинк и т. д. Тем самым верхний слой поверхности материала в результате диффузии при обработке приобретает новые физические и химические свойства.

Для увеличения прочности стальных деталей поверхность стали насыщают углеродом. Детали помещают в ящик с древесным углём или графитовым порошком и устанавливают в печь. Атомы углерода вследствие диффузии проникают в поверхностный слой деталей. Глубина проникновения зависит от температуры и времени выдержки деталей в термической печи. Этот процесс обработки известен с XII в.

**КОВКА МЕТАЛЛОВ.** Явление диффузии в металлах в той или иной мере проявляется и в кузнечном деле. Соединяемые металлы нагревают до белого каления и подвергают сильным ударам молота. При столь высокой температуре взаимная диффузия частиц железа происходит с большей скоростью и на большую глубину.

**ДИФфуЗИОННАЯ СВАРКА.** В развитии современных технологий большую роль играет возможность использования различных материалов, соединение которых между собой достаточно непростая инженерная задача. В середине прошлого века выдающийся советский инженер Н. Ф. Казаков предложил принципиально новый метод, получивший название диффузионной сварки. При диффузионной сварке тела, которые необходимо прочно соединить друг с другом, нагреваются до необходимых температур и соединяются друг с другом. Диффузия между соединёнными поверхностями ускоряется за счёт того, что процесс идёт под высоким давлением и в вакууме.



**Николай Федотович  
Казаков**  
(1906—1984)

Благодаря диффузионной сварке в промышленности получают детали и изделия, в которых, например, соединения металлов с неметаллами обладают очень высокой прочностью.

Перед началом диффузионной сварки поверхности, которые необходимо соединить, тщательно обрабатываются и зачищаются от шероховатостей. Это делается для того, чтобы при соприкосновении достичь таких малых расстояний, на которых начинают проявляться взаимодействия молекул соприкасающихся поверхностей.

**Диффузионная сварка** — сложный технологический процесс, для которого необходимо соответствующее оборудование. Одним из важных преимуществ диффузионной сварки является её экологическая безопасность.



**!** Явление диффузии широко применяется для решения различных практических задач, например связанных с хранением продуктов питания и обработкой материалов.

**Вывод**

Диффузия; маринование; консервирование; дубление кожи; обработка древесины; ковка металлов; диффузионная сварка

**Ключевые  
Слова**

**и Вопросы  
Задания**

1. Каким способом можно ускорить процесс засолки огурцов? Объясните причину явления, происходящего в данном процессе.
2. Если железную деталь поместить в угольный порошок, содержащий углерод, а затем нагреть, то поверхностный слой железа обогатится углеродом (цементация). Какое физическое явление лежит в основе данной технологии?
3. Почему «свариваются» два куска стали, нагретые до температуры 900 °С, если кузнец кладёт их друг на друга и ударяет молотом по одному, в то время как другой лежит на наковальне?
4. На основании своего опыта приведите примеры использования диффузии для решения практических задач.

# §16 ВЗАИМНОЕ ПРИТЯЖЕНИЕ И ОТТАЛКИВАНИЕ МОЛЕКУЛ

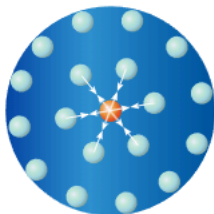
## НОВОЕ В УРОКЕ

- Как молекулы действуют друг на друга.
- Когда проявляется притяжение, а когда — отталкивание молекул.

## ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Из чего состоит вещество?
- Что такое диффузия?

Мы узнали, что все молекулы находятся в состоянии непрерывного движения. Однако одни тела сохраняют свою форму и объём, а другие нет. Почему это происходит?



**ВЗАИМНОЕ ПРИТЯЖЕНИЕ МОЛЕКУЛ.** Если ножом или лезвием срезать и зачистить до блеска поверхности свинцовых цилиндров, а затем плотно прижать их друг к другу, то можно обнаружить, что цилиндры «сцепятся». Сила их сцепления достаточно велика, при удачном проведении опыта цилиндры выдерживают пятикилограммовую гиру.

Результат поставленного опыта объясняется тем, что **между молекулами существует взаимное притяжение**. Каждая молекула притягивает к себе соседние молекулы и сама притягивается ими.

Если мы захотим изменить форму какого-либо тела, то нам придётся преодолеть эти силы притяжения. Чем больше молекул и чем сильнее они притягиваются друг к другу, тем сложнее нам будет это сделать.

Почему же, для того чтобы «сцепить» цилиндры, необходимо как следует отшлифовать их поверхности? Дело в том, что *притяжение между молекулами становится существенным только тогда, когда они находятся очень близко друг к другу*. На расстоянии большем, чем размеры самих молекул, притяжение резко ослабевает. Например, при увеличении расстояния между центрами молекул в 2 раза притяжение между ними уменьшается более чем в 100 раз.

Важно понимать, что для различных веществ притяжение между молекулами различно. Например, сломать деревянную палку несложно, а вот сломать стальной прут руками мы не можем.

## ФИЗИКА В ЖИЗНИ

Разбитую чашку нельзя склеить простым прижатием её осколков. Неровности их граней не дают им сблизиться на расстояние, на котором станут проявляться силы межмолекулярного притяжения. Если же прижать друг к другу два куска пластилина, то они соединятся в одно целое, так как молекулы сближаются на расстояния, сравнимые с их размерами.

Металлические детали конструкции соединяют в единое целое благодаря технологии, которая называется сваркой, основанной на притяжении молекул двух веществ, находящихся в расплавленном состоянии.

## ЭТО ИНТЕРЕСНО

Почти две тысячи лет сторонники атомистической теории считали, что атомы в веществе держатся вместе благодаря какой-то сложной конструкции, похожей на крючки или специальные зазоры.

Английский физик и химик Роберт Бойль, прославившийся своими работами по изучению газов, писал, что частицы твёрдых тел держатся вместе из-за «своей разветвлённости, неправильной фигуры... и других неудобств формы».

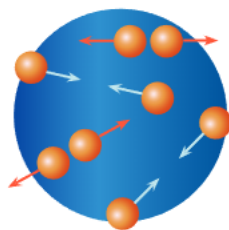
Великий английский физик Исаак Ньютон впервые заговорил о том, что, возможно, существуют силы притяжения, действующие на столь малых расстояниях, что они до сих пор ускользают от наблюдения.



Роберт Бойль  
(1627—1691)

**ВЗАИМНОЕ ОТТАЛКИВАНИЕ МОЛЕКУЛ.** Но почему, если молекулы притягиваются друг к другу, между ними в веществе имеются промежутки? Если бы молекулы только притягивались, то они должны были бы «прилипнуть» друг к другу, не оставляя никаких промежутков. Этого не происходит, потому что **между молекулами (атомами) в то же время существует и отталкивание.**

Молекулы вещества притягиваются друг к другу и отталкиваются друг от друга одновременно. Что действует сильнее — притяжение или отталкивание, напрямую зависит от расстояния между молекулами.



## ВАЖНО

На расстояниях, сравнимых с размерами самих молекул (атомов), заметнее проявляется **притяжение**, а при дальнейшем сближении — **отталкивание**.

Многие явления подтверждают отталкивание между молекулами. Например, если достаточно сильно надавить на резиновый ластик, то он изменит свою форму. Однако если мы уберём палец, то ластик примет первоначальную форму. Это происходит потому, что при надавливании молекулы вещества оказываются на столь близком расстоянии друг от друга, что начинает проявляться отталкивание между ними.

**МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ.** Благодаря многочисленным опытам гипотеза Демокрита о строении вещества начала превращаться в последовательно развиваемую научную теорию только в XVIII в. Раздел физики, в котором изучаются физические свойства вещества на основе представления о том, что оно состоит из атомов и молекул, называется молекулярной физикой. Основой молекулярной физики является молекулярно-кинетическая теория (МКТ), в становлении которой большую роль сыграл наш великий соотечественник М. В. Ломоносов.

**ВАЖНО** 


В основе **молекулярно-кинетической теории** лежат следующие положения:

- Все вещества состоят из мельчайших частиц — атомов и молекул.
- Между частицами вещества существуют промежутки.
- Частицы вещества находятся в непрерывном хаотичном движении.
- Частицы вещества взаимодействуют друг с другом.

 **ЭТО ИНТЕРЕСНО**

Как показывают опыты, абсолютно чистые и гладкие поверхности при соприкосновении могут соединяться друг с другом. Поэтому, когда начались полёты космических кораблей с экипажем на борту, существовала реальная опасность, что металлическая подошва ботинка космонавта может прилипнуть к металлической обшивке корабля. Но эти опасения, к счастью, не оправдались.

**Вывод**

 Частицы вещества взаимодействуют друг с другом. На расстояниях, сравнимых с размерами самих молекул (атомов), заметнее проявляется притяжение, а при дальнейшем сближении — отталкивание.

**КЛЮЧЕВЫЕ  
СЛОВА**

Взаимодействие молекул; притяжение молекул; отталкивание молекул

**И ВОПРОСЫ  
ЗАДАНИЯ**

1. Как взаимодействуют между собой молекулы?
2. Почему разломанный карандаш мы не можем соединить так, чтобы он вновь стал целым?
3. Действие сил межмолекулярного взаимодействия демонстрируют с помощью двух кусков свинца. Почему для этого не используют куски из стали?
4. Почему при механической обработке деталей резцом необходимо прилагать большие усилия?
5. Что произошло бы с окружающим нас миром, если бы внезапно исчезло притяжение между молекулами?
6. Приведите примеры того, что силы притяжения между атомами твёрдых тел действуют лишь на очень малых расстояниях.



- Клей и характеристики склеиваемых поверхностей.



# АГРЕГАТНЫЕ СОСТОЯНИЯ ВЕЩЕСТВА §17

## НОВОЕ В УРОКЕ

- Какие существуют состояния вещества.
- Каковы свойства твёрдых тел, жидкостей и газов.
- Молекулярное строение твёрдых тел, жидкостей и газов.

## ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Из чего состоит вещество?
- Как молекулы действуют друг на друга?

Наш жизненный опыт говорит, что в окружающем нас мире вода может находиться в твёрдом (лёд), жидком (вода) и газообразном (водяной пар) состояниях. Летом мы наблюдаем воду в реках и озёрах, пар содержится в окружающем воздухе, а зимой воду можно наблюдать в виде снега и льда.

**АГРЕГАТНЫЕ СОСТОЯНИЯ.** В природе каждое вещество может находиться в трёх состояниях: *твёрдом, жидком и газообразном*. Эти состояния называют агрегатными состояниями.

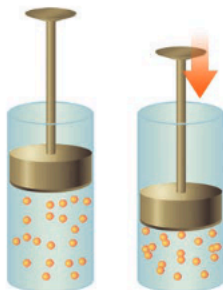
В различных агрегатных состояниях вещества обладают разными свойствами. Так как все физические тела состоят из атомов и молекул, то *физические свойства вещества зависят от того, каким образом упорядочены в нём молекулы и как они взаимодействуют между собой*.



**ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГАЗОВ.** Большинство газов бесцветны и прозрачны, поэтому они невидимы. Воздух, которым мы дышим, также является газом, а точнее, смесью газов.

Газы полностью заполняют сосуд, в котором находятся, принимая его форму и объём. Нельзя заставить газ заполнить только половину сосуда, в котором он находится.

Все эти свойства газов объясняются тем, что в них *расстояние между молекулами намного больше размеров самих молекул*. Молекулы газа, беспорядочно двигаясь во всех направлениях, почти не притягиваются друг к другу. Поэтому **газы не имеют собственной формы и постоянного объёма. Они принимают форму сосуда и полностью заполняют предоставленный им объём.**



**ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖИДКОСТЕЙ.** В отличие от газа, **жидкость при заданной температуре занимает фиксированный объём**, однако и она **принимает форму заполняемого сосуда**. Например, сок в банке имеет форму банки, сок, налитый в стакан, имеет форму стакана.

Основное свойство жидкости — текучесть. Молекулы жидкости расположены на существенно более близком расстоянии друг от друга, чем молекулы газа, поэтому силы притяжения между ними более заметны.

Несмотря на то что изменить форму жидкости легко, изменить объём фиксированного количества жидкости трудно. Это объясняется тем, что расстояние между молекулами жидкости меньше размеров самих молекул. Если жидкость попытаться сжать, её молекулы оказываются на таком близком расстоянии друг от друга, что начинают отталкиваться.

### ИСТОРИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

В начале XVII в. английский философ Ф. Бэкон описал опыт по сжатию воды: «Мы заказали полый шар из свинца, объёмом приблизительно в две винные пинты, с достаточно толстыми стенками, чтобы выдержать большую силу. В него мы влили воду через сделанное отверстие. Наполнив шар водой, мы запаяли свинцом это отверстие, чтобы шар стал совершенно замкнутым. Затем мы сплющили шар тяжёлым молотом с двух противоположных сторон, от чего вода неизбежно должна была сжаться в меньшем пространстве... Затем, когда ударов молота уже не хватало для того, чтобы далее сжимать воду, мы воспользовались прессом, так что наконец вода, не выдерживая уже дальнейшего давления, начала выступать сквозь свинец, как мелкая роса. Потом мы подсчитали, сколько объёма убавилось в шаре от давления, и убедились, что это есть то сжатие, которое вынесла вода, но только подвергнутая воздействию огромной силы».



Фрэнсис Бэкон  
(1561—1626)

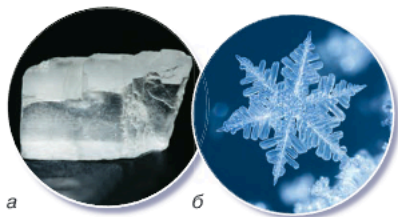
**ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТВЁРДЫХ ТЕЛ.** Вокруг нас можно встретить множество твёрдых тел — тела из металлов, различного вида минералы, дерево, сахар, соль и т. д. Изменить форму твёрдого тела достаточно сложно — в обычных условиях трудно сжать или растянуть твёрдое тело.

**Твёрдое тело сохраняет свою форму и объём,** и с этой точки зрения твёрдое состояние веществ можно считать противоположностью газообразному.

Молекулы (атомы) в твёрдом теле находятся близко друг к другу, причём в большинстве твёрдых тел они расположены в определённом порядке. Такие тела называются кристаллическими. Атомы, расположенные в определённом порядке, образуют кристаллическую решётку.

Поваренная соль (рис. а) имеет кристаллическую структуру, состоящую из двух разных атомов (натрия и хлора). Кристаллы льда (рис. б) состоят из молекул воды.

Молекулы (атомы) твёрдых тел колеблются около некоторого положения равновесия и не могут переместиться далеко от него. Поэтому твёрдые тела сохраняют свой объём и форму.



а

б

**ОСОБЕННОСТИ АГРЕГАТНЫХ СОСТОЯНИЙ ВОДЫ.** Расстояние между молекулами воды в твёрдом состоянии больше, чем в жидком. Это необычное для природы явление. При замерзании объём льда становится больше объёма воды, из которой этот лёд образовался, следовательно, увеличивается расстояние между молекулами.

Эта особенность приводит к тому, что лёд плавает на поверхности воды и не тонет. Зимой в реках и озёрах верхние слои воды превращаются в лёд, а нижние придонные слои остаются в жидком состоянии с температурой, близкой к 4 °С. Даже в самые холодные зимы глубокие водоёмы не промерзают до дна, поэтому рыбы и другие водные организмы могут существовать в зимний период.

**ПЛАЗМА.** Вещество в газообразном состоянии, приобретающее при некоторых условиях (например, при достаточно высоких температурах) новые свойства, называется плазмой.

Плазма является наиболее распространённым состоянием вещества во Вселенной. Солнце, галактические туманности, полярные сияния, молнии, в том числе шаровые, — всё это различные виды плазмы. В ряде технических устройств, например в люминесцентных лампах, также можно наблюдать свечение плазмы.

#### ЭТО ИНТЕРЕСНО

У целого ряда веществ при определённых условиях могут существовать агрегатные состояния, обладающие необычными свойствами. Например, как показали эксперименты, при очень большом внешнем давлении можно приготовить лёд, который остаётся твёрдым даже при температуре 75 °С.



Существуют различные агрегатные состояния вещества. Свойства вещества в каждом агрегатном состоянии зависят от того, каким образом упорядочены в нём молекулы и атомы и как они взаимодействуют.

#### ВЫВОД

Агрегатные состояния вещества; газ; жидкость; твёрдое тело; плазма; молекулярное строение газов, жидкостей и твёрдых тел

#### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

#### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Каковы свойства газов и чем эти свойства объясняются?
2. Каковы свойства жидкостей и чем эти свойства объясняются?
3. Каковы свойства твёрдых тел и чем эти свойства объясняются?
4. Почему молекулы пролитой жидкости не «разбегаются» друг от друга?
5. В толстостенном стальном цилиндре сжимают масло. При большом давлении капельки масла выступают на внешних стенках цилиндра. Чем это можно объяснить?
6. В компрессоре воздух подвергается сильному сжатию. Что происходит при этом с молекулами воздуха?
7. В зимний морозный день над полыньёй в реке образовался туман. Какое это состояние воды?
8. Можно ли открытый сосуд заполнить газом на 50 % его вместимости?

## §18 РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

- **ЗАДАЧА.** Капля масла объёмом  $0,025 \text{ см}^3$  образовала на поверхности воды плёнку площадью  $3000 \text{ см}^2$ . Сколько молекулярных слоёв в этой плёнке? Диаметр молекулы масла принять равным  $10^{-9} \text{ м}$ .

Запишем условие задачи и решим её.

$$\begin{aligned} \text{Дано:} \\ V &= 0,025 \text{ см}^3 \\ S &= 3000 \text{ см}^2 \\ d &= 10^{-9} \text{ м} \end{aligned}$$

$$N \text{ — ?}$$

$$\begin{aligned} \text{СИ} \\ 0,025 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 \\ 3000 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \end{aligned}$$

Решение.

$$\text{Толщина плёнки: } D = \frac{V}{S}.$$

Число молекулярных слоёв найдём, разделив толщину плёнки на диаметр одной молекулы:

$$N = \frac{D}{d} = \frac{V}{Sd}.$$

$$N = \frac{0,025 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3}{3000 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot 10^{-9} \text{ м}} = \frac{250}{3} \approx 83.$$

Ответ: 83.

### Задачи для самостоятельного решения

- 1 Капля воды имеет объём  $0,05 \text{ мл}$ . В одной капле содержится примерно  $1,7 \cdot 10^{21}$  молекул воды. Сколько молекул содержится в  $1 \text{ л}$  воды? Сравните число молекул в  $1 \text{ л}$  воды и число капель в Мировом океане, если объём воды в Океане оценивается в  $1,3 \cdot 10^{21} \text{ л}$ .
- 2 Вычислите, где больше молекул: в  $1 \text{ л}$  воздуха или в  $10 \text{ мл}$  воды, если известно, что в  $1 \text{ см}^3$  воздуха при обычных условиях содержится  $2,7 \cdot 10^{19}$  молекул, а в  $1 \text{ капле}$  воды ( $0,05 \text{ мл}$ ) содержится  $1,7 \cdot 10^{21}$  молекул.
- 3 Примерный диаметр атома алюминия равен  $10^{-10} \text{ м}$ . Диаметр наноиголки составляет  $50 \text{ нм}$ . Сколько атомов алюминия можно разместить на острие наноиголки вдоль её диаметра?
- 4 Из стакана с водой за двое суток испарилось  $10 \text{ мл}$  воды. Используя данные из задачи 1, определите, сколько молекул вылетает с поверхности воды за  $1 \text{ с}$ .
- 5 На фотоснимке видимый диаметр молекулы некоторого вещества равен  $0,5 \text{ мм}$ . Чему равен действительный диаметр молекулы данного вещества, если фотоснимок получен с помощью электронного микроскопа с увеличением  $200\,000$  раз?

## Лабораторная работа № 3

### Измерение размеров малых тел

#### Цель работы

Научиться оценивать размеры малых тел по фотографиям, полученным с помощью оптического и электронного микроскопов.

#### Оборудование и материалы

Линейка, фотографии, полученные с помощью оптического и электронного микроскопов.

#### Ход работы

**Задание 1. Определение размера объекта по фотографии, полученной с помощью оптического микроскопа**



- Приложите линейку к фотографии, полученной с помощью оптического микроскопа. Измерьте диаметр человеческого волоса на фотографии.
- Учитывая, что увеличение фотографии, сделанной с помощью оптического микроскопа, равно 90, вычислите реальный диаметр волоса. Полученные результаты занесите в таблицу в своей тетради.

Объект	Размер объекта на фотографии	Увеличение фотографии	Реальный размер объекта
1. Диаметр волоса			
2. Пылевой клещ			

**Задание 2. Определение увеличения, которое даёт оптический микроскоп**

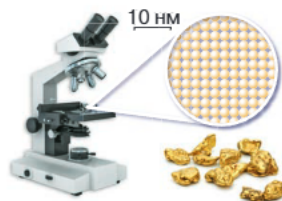


- Приложите линейку к фотографии, полученной с помощью современного оптического микроскопа. Измерьте размер пылевого клеща на фотографии.
- Учитывая, что размер пылевых клещей составляет до 300 микрон в длину, определите увеличение, которое даёт оптический микроскоп. Полученные результаты занесите в таблицу задания 1.

**Задание 3. Определение диаметра атома золота способом рядов**

- Посчитайте количество атомов, находящихся в одном ряду.
- С помощью линейки измерьте длину этого ряда.

- Вычислите диаметр изображения одного атома на фотографии, разделив длину ряда на количество частиц в ряду.
- С помощью линейки измерьте отрезок, реальный размер которого равен 10 нм. Определите увеличение электронного микроскопа, разделив длину этого отрезка на 10 нм.
- Вычислите диаметр одного атома. Полученные результаты занесите в таблицу в тетради.



Число атомов в ряду	Длина ряда, мм	Диаметр изображения одного атома на фотографии, мм	Увеличение электронного микроскопа	Реальный диаметр одного атома, нм

- Сделайте вывод.

## Практические работы-исследования

### Простые опыты из мира молекулярных движений

Молекул чрезвычайно много, они очень малы и находятся в состоянии непрерывного движения. Увидеть молекулы непосредственно можно только с помощью специальных приборов — электронных микроскопов или ионных проекторов. Вместе с тем существование мира молекулярных движений можно обнаружить с помощью простых и доступных опытов.

**ОЦЕНКА СКОРОСТИ ДИФФУЗИИ МОЛЕКУЛ.** При диффузии молекулы одного вещества проникают между молекулами другого вещества. Этот процесс в одних веществах протекает быстрее, в других — медленнее.

#### Цель работы

Оценить скорость диффузии молекул.

#### ПОМОЩНИК

- В качестве оборудования можно использовать высокий стакан или мензурку, линейку, часы, воронку с длинным носиком, холодную и тёплую воду, порошок медного купороса, кристаллики перманганата калия.
- На дно мензурки насыпьте порошок медного купороса. Поставьте в сосуд воронку так, чтобы конец воронки касался дна сосуда. Осторожно налейте через воронку воду в сосуд. Зафиксируйте границу раздела сильно окрашенного раствора медного купороса (внизу) и воды (вверху). Отметьте дату и время начала эксперимента.
- Ежедневно измеряйте, на сколько миллиметров размывается и смещается граница раствора медного купороса и воды, т. е. на какое расстояние молекулы медного купороса проникают в воду. Для полного растворения медного купороса потребуется до 14 дней.
- Постройте график зависимости смещения границы раствора и воды от времени.
- Сделайте выводы.



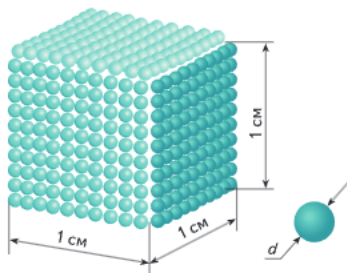
**ОЦЕНКА СКОРОСТИ ИСПАРЕНИЯ МОЛЕКУЛ ВОДЫ.** При испарении молекулы жидкости постепенно переходят в воздух в форме пара. Но как быстро происходит этот процесс? Сколько молекулярных слоёв испаряется с поверхности воды за 1 с?

**Цель работы**

Оценить скорость испарения воды при комнатной температуре.

**ПОМОЩНИК**

- В качестве оборудования можно использовать мензурку, часы, линейку, воду комнатной температуры.
- Налейте в мензурку воды примерно на  $\frac{3}{4}$  объёма сосуда, зафиксируйте начальный уровень воды. Отметьте дату и время начала эксперимента.
- Тщательно измерьте (в мм) понижение уровня воды в мензурке за всё время наблюдения. Поскольку испарение является медленным процессом, то для заметного понижения уровня воды в пробирке ( $\approx 2\text{--}3$  мм) требуется значительное время (примерно 7 дней).
- Получите оценку диаметра  $d$  одной молекулы, считая, что в  $1\text{ см}^3$  воды содержится примерно  $3,3 \cdot 10^{22}$  молекул. При вычислениях учтите, что для молекул жидкости характерна «плотная упаковка».
- Вычислите скорость понижения уровня воды (в мм/с).
- Допуская, что молекулы воды у поверхности расположены слоями, оцените число молекулярных слоёв, испаряющихся с поверхности воды за 1 с.
- Сделайте выводы.



**ЭТА МНОГОЛИКАЯ ДИФFUЗИЯ**

КЕЙС

Когда мы обсуждали явление диффузии в газах, жидкостях и твёрдых телах, то имели в виду диффузию молекул или атомов в объёме вещества (объёмная диффузия).

На самом деле имеет место и поверхностная диффузия.

Пронаблюдайте на опыте явление поверхностной диффузии в случае жидкости.

**НАУЧНАЯ СПРАВКА.** В технике широко используется процесс спекания порошков. С помощью этой технологии получают многие металлы и большинство керамических изделий. На самом деле в этих процессах осуществляется самодиффузия, причём перемещение атомов происходит не только по объёму, но и по поверхности изделия. Очевидно, что атом или молекула в объёме связаны с большим числом частиц, чем атом или молекула на поверхности. Это является одной из причин, почему поверхностная диффузия играет определяющую роль в процессах спекания порошков.

**Этапы выполнения задания**

- В качестве оборудования можно использовать воду, налитую в тонкостенный прозрачный сосуд, красящее вещество (чернила, раствор йода и т. п.), пипетку.

- Каплю красящего вещества из пипетки осторожно опустите на поверхность воды.
- Внимательно наблюдайте за процессом распространения красящего вещества по поверхности воды и по объёму.
- Сопоставьте скорости поверхностной и объёмной диффузии молекул красящего вещества.
- По результатам наблюдений сделайте выводы.

## ПОДВЕДЁМ ИТОГИ

- Все вещества состоят из мельчайших частиц, между которыми есть промежутки.
- Атомы — это те «кирпичики» материи, из которых построен окружающий нас мир. Атомы соединяются в более сложные системы — молекулы. Размеры молекул и атомов очень малы.
- Явление диффузии широко применяется для решения различных практических задач.
- Частицы вещества взаимодействуют друг с другом. На расстояниях, сравнимых с размерами самих молекул (атомов), заметнее проявляется притяжение, а при дальнейшем сближении — отталкивание.
- Существуют различные агрегатные состояния вещества. Свойства вещества в каждом агрегатном состоянии зависят от того, каким образом в нём упорядочены молекулы и атомы и как они взаимодействуют между собой.

## Вопросы для обсуждения

- ❓ Опыт по смешиванию воды и спирта показывает, что между молекулами имеются промежутки. Означает ли это, что вода и спирт являются легкосжимаемыми веществами?
- ❓ Можно ли наблюдать броуновское движение чаинков в стакане горячего чая?
- ❓ На лабораторном столе случайно пролили эфир. Какие факторы, по вашему мнению, влияют на то, что запах эфира через некоторое время стал отчётливо ощущаться в отдалённом углу комнаты?

## Темы исследовательских и проектных работ

- История открытия атома.
- Современные методы наблюдения молекул и атомов.
- Нанотехнологии в современном мире.
- Явление диффузии в природе.
- Явление диффузии в жизни.
- Использование явления диффузии в технике и технологиях.
- Сварка и склейка материалов с позиций молекулярного строения вещества.
- Удивительные свойства воды в различных агрегатных состояниях.
- Что такое плазма.

# Глава 3

## ДВИЖЕНИЕ, ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ, МАССА

...Заставьте теперь корабль двигаться с любой скоростью и тогда (если только движение будет равномерным и без качки в ту и другую сторону) во всех названных явлениях вы не обнаружите ни малейшего изменения и ни по одному из них не сможете установить, движется ли корабль или стоит неподвижно...

*Г. Галилей*



## § 20 МЕХАНИЧЕСКОЕ ДВИЖЕНИЕ

### НОВОЕ В УРОКЕ

- Что такое механическое движение.
- Что такое траектория, путь.
- Как зависит механическое движение от выбора тела отсчёта.

### ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Какие основные единицы СИ вы знаете?

Вокруг себя мы можем наблюдать множество примеров движения тел: движение автомобиля относительно дороги, Луны вокруг Земли и планет Солнечной системы вокруг Солнца. Броуновское движение и явление диффузии свидетельствуют о непрерывном движении молекул.

**МЕХАНИЧЕСКОЕ ДВИЖЕНИЕ.** Начиная с древних времён египтяне, греки и римляне применяли различные простые механизмы в транспорте, строительстве, военном деле. На древнегреческом языке название искусства построения машин и механизмов звучало как «механика» (*mechanike*). В настоящее время механика — это раздел физики, изучающий движение и взаимодействие тел. Говорят, что тело движется, если его положение меняется относительно окружающих его тел.

### ВАЖНО

**Механическим движением** тела называется изменение положения тела в пространстве относительно других тел с течением времени.

**ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ.** Говоря о движении тела, обязательно надо указать, относительно каких тел происходит это движение. Представьте себе, что вы стоите на железнодорожной станции и мимо вас едет поезд. В этом поезде сидит ваш товарищ и смотрит из окна на вас. Движется ли поезд?

«Конечно, да!» — скажете вы. «Нет, поезд покоится. Движется перрон, стоящие на нём люди, деревья за окном», — скажет ваш товарищ. Так кто же из вас прав? Для ответа на вопрос, покоится тело или движется и как именно движется, необходимо указать, относительно каких тел рассматривается движение тела.

Всякое движение тела, а также состояние покоя относительны. Тело, по отношению к которому рассматривается данное механическое движение, называют телом отсчёта.

За тело отсчёта может быть принято дерево, здание, Земля, автобус и т. д. При этом само тело отсчёта может двигаться относительно какого-либо другого тела отсчёта.

**ОПИСАНИЕ ДВИЖЕНИЯ.** В некоторых случаях при описании движения можно не принимать во внимание размеры тела и рассматривать его как точку. Например, если требуется рассчитать время движения самолёта, летящего из Москвы в Сочи, то в этом случае размер самолёта не важен. Однако при въезде в ангар размеры самолёта играют важную роль.

ФИЗИКА В ЖИЗНИ

При использовании навигатора мы рассматриваем машину как движущуюся точку на карте, размеры машины в этом случае для нас не имеют значения.

**ТРАЕКТОРИЯ.** Когда тело с течением времени изменяет своё положение в пространстве, то оно движется по некоторой линии, называемой траекторией движения тела.

Траектория может быть *видимой* (следы сгорающих частиц при запуске фейерверков и салютов, следы ручки на бумаге при письме) или *невидимой* (линия движения автомобиля по дороге).

Формы траектории могут быть различными: прямая, ломаная, кривая. **Форма траектории зависит от выбора тела отсчёта.** Например, если за тело отсчёта выбрать вертолёт, то траектория точки на лопасти пропеллера будет окружностью. Если же за тело отсчёта принять Землю, то траектория этой точки будет иметь более сложную форму.



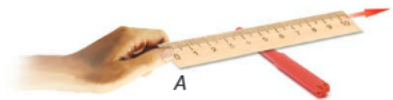
**ПУТЬ И ЕДИНИЦЫ ПУТИ.** Траектория тела характеризуется не только формой, но и длиной. Длину траектории, по которой движется тело в течение некоторого промежутка времени, называют пройденным путём.

Путь обозначают буквой *s*. Основной единицей пути в Международной системе единиц (СИ) является единица длины — метр (м). Также можно использовать и другие кратные и дольные единицы длины: миллиметр, сантиметр, километр и т. д.

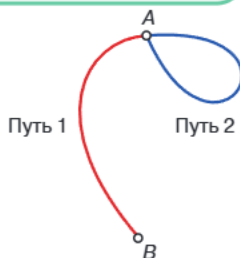
Проведите следующий эксперимент.

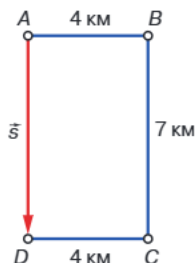


**ПОМОЩНИК.** Расположите линейку и фломастер так, как показано на рисунке. Постарайтесь двигать линейку так, чтобы фломастер катился по столу без скольжения. Сравните путь, пройденный фломастером, и путь, пройденный концом линейки, обозначенным буквой *A*. Объясните полученный результат.



**ПУТЬ И ПЕРЕМЕЩЕНИЕ.** Для решения практических задач недостаточно знать только путь. Предположим, турист начал движение из точки *A* и прошёл за день 15 км. Можно ли по этим данным определить, куда он пришёл? Он мог дойти до точки *B* — путь 1, а мог вернуться обратно в точку *A* — путь 2. Турист мог оказаться в любой точке внутри круга с центром в точке *A* и радиусом 15 км.





Чтобы избежать такой неопределённости, вводится понятие *перемещения*. Например, известно, что турист из точки  $A$  сначала шёл на восток 4 км, затем на юг — 7 км, а потом на запад — 4 км. В общей сложности он прошёл путь, равный 15 км, и оказался в точке  $D$ .

Направленный отрезок, соединяющий начальное и конечное положения тела, называется *перемещением*. В данном примере перемещение равно 7 км и направлено оно вниз, на юг.

Величины, которые, кроме числового значения, имеют ещё и направление, называют *векторными*. Числовое значение векторной величины также называется *модулем вектора*.

Перемещение, кроме числового значения, всегда имеет направление, следовательно, перемещение — это векторная величина. *Модуль перемещения* показывает расстояние между начальной и конечной точками движения. Перемещение обозначается символом  $\vec{s}$  (со стрелочкой), а его модуль —  $s$  (без стрелочки).

Кроме перемещения, существуют и другие векторные физические величины, которые характеризуются числовым значением и направлением (с ними вы познакомитесь позже).

Физические величины, которые не имеют направления, а характеризуются только числовым значением, называются *скалярными*. Примерами скалярных величин могут служить путь, объём, площадь и т. д.

Единицей перемещения (его модуля), как и единицей пути, является *метр*.

## РАВНОМЕРНОЕ ПРЯМОЛИНЕЙНОЕ ДВИЖЕНИЕ

### ВАЖНО

Если траектория движения тела — прямая линия, то такое движение называется **прямолинейным**. Если тело за любые равные промежутки времени проходит равные пути, то его движение называется **равномерным**.

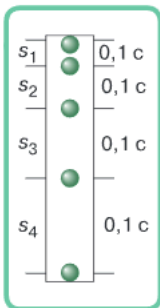
Если тело движется прямолинейно, то его перемещение направлено вдоль траектории движения. При этом пройденный телом путь равен модулю вектора перемещения.

На практике равномерное движение встречается достаточно редко. Ближним к равномерному является движение Земли вокруг Солнца, прямолинейным равномерным можно считать движение эскалатора метро и др.

**НЕРАВНОМЕРНОЕ ДВИЖЕНИЕ.** В большинстве случаев движение тел не является равномерным. Поезд, отходя от станции, проходит всё большие и большие пути за одинаковые промежутки времени. Машина на дороге движется то медленнее, то быстрее. Сосулька, сорвавшись с крыши, проходит разные пути за одинаковые промежутки времени. Всё это примеры *неравномерного* движения.

Если тело за равные промежутки времени проходит разные пути, то его движение называют **неравномерным**.

ИССЛЕДОВАНИЕ



Рассмотрим движение теннисного мяча, падающего с некоторой высоты. Будем фотографировать положения мяча через каждые 0,1 с. Зафиксировать положения тела через равные промежутки времени позволяет прибор, называемый *стробоскопом*. Он производит регулярно повторяющиеся световые вспышки. Настроив прибор и задав частоту вспышек, можно получить картину движения быстро движущегося объекта.

На рисунке отмечены расстояния  $s_1$ ,  $s_2$ ,  $s_3$  и  $s_4$ , которые пролетает мяч за каждые 0,1 с. Видно, что пути, проходимые мячом за равные промежутки времени, различны.

**ТАБЛИЧНОЕ ОПИСАНИЕ ДВИЖЕНИЯ.** Одним из способов количественного описания прямолинейного движения тела является занесение в таблицу результатов измерений его пути за определённые интервалы времени. Например, можно описать движение велосипедиста, измерив его положения на шоссе через равные интервалы времени. Если отсчёт времени производится с помощью секундомера, а пройденный путь измеряется с помощью пятиметровой рулетки, то результаты измерений можно представить в виде таблицы. Например, для равномерного прямолинейного движения:

$t$ , с	0	1	2	3	4	5
$s$ , м	0	5	10	15	20	25

- ! Механическим движением тела называют изменение положения тела в пространстве относительно других тел с течением времени.
- ! Чтобы судить о движении тела, надо узнать, меняется ли положение этого тела относительно окружающих его тел.
- ! Если тело за любые равные промежутки времени проходит равные пути, то его движение называют равномерным. Если же тело за равные промежутки времени проходит разные пути, то его движение называют неравномерным.

ВЫВОДЫ

Механическое движение; векторы; скалярная физическая величина; траектория; путь; перемещение; равномерное движение

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

И ВОПРОСЫ ЗАДАНИЯ

1. Какое движение называют равномерным; неравномерным?
2. Почему, говоря о движении тела, обязательно надо указывать, относительно каких тел происходит это движение?
3. Человек стоит на движущемся эскалаторе метро. Приведите примеры тел, относительно которых этот человек: движется; находится в состоянии покоя.
4. Автомобиль движется по прямолинейному участку пути. Какова форма траектории точки, находящейся на шине колеса; точки, находящейся в центре колеса?
5. Спортсмен пробежал 3 круга по стадиону. Чему равны его путь и перемещение, если длина беговой дорожки стадиона 450 м? Поясните свой ответ.

# § 21 СКОРОСТЬ

## НОВОЕ В УРОКЕ

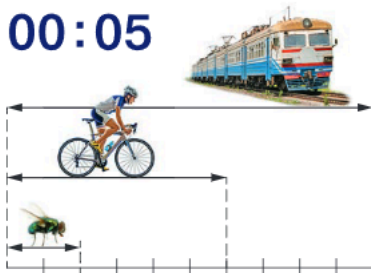
- Что такое скорость.
- Как можно определить скорость движения тел.
- Каковы единицы скорости.
- Как вычислить скорость тела при прямолинейном равномерном движении.
- Как построить графики зависимости скорости от времени.
- Как построить графики зависимости пути от времени.

## ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что изучает физика?

За одно и то же время различные тела могут проходить разные пути. Например, за 5 мин движения поезд прошёл больший путь, чем проехал велосипедист, а велосипедист — больший путь, чем пролетела муха. Значит, один и тот же путь поезд проезжает быстрее, чем велосипедист, а велосипедист — быстрее, чем пролетает муха.

00:05



**ПОНЯТИЕ СКОРОСТИ.** Для того чтобы понять, насколько быстро движется тело, в физике используется физическая величина **скорость**. Например, человек может за время 1 ч пройти путь 5 км, автомобиль за это же время может проехать 60 км, а самолёт может пролететь 850 км. Тогда говорят, что человек движется со скоростью 5 километров в час, скорость автомобиля составляет 60 километров в час, а скорость самолёта — 850 километров в час.

**СКОРОСТЬ ПРИ РАВНОМЕРНОМ ПРЯМОЛИНЕЙНОМ ДВИЖЕНИИ.** *Скорость при равномерном прямолинейном движении тела показывает, какой путь проходит тело за единицу времени.* Так как при равномерном движении тело за равные промежутки времени проходит равные пути, то скорость при таком движении оказывается постоянной.

Для того чтобы определить скорость тела при равномерном прямолинейном движении, необходимо путь, пройденный телом, разделить на время, за которое этот путь был пройден:

$$\text{скорость} = \frac{\text{путь}}{\text{время}}$$

## ВАЖНО

Если обозначить величины: скорость прямолинейного равномерного движения —  $v$ , путь —  $s$  и время —  $t$ , то **скорость** рассчитывают по формуле

$$v = \frac{s}{t}$$

**ЕДИНИЦЫ СКОРОСТИ.** В Международной системе единиц (СИ) за единицу скорости принимают скорость такого прямолинейного равномерного движе-

ния, при котором движущееся тело за 1 с проходит путь, равный 1 м. Эту единицу называют *метр в секунду* и обозначают м/с.

Используются и другие единицы скорости: *километр в час* (км/ч), *километр в секунду* (км/с), *сантиметр в секунду* (см/с). При выборе разных единиц скорость будет иметь разные численные значения.

Например, скорость велосипедиста равна 18 км/ч. Выразим эту скорость в метрах в секунду (м/с). Для этого вспомним, что 1 км = 1000 м и 1 ч = 3600 с. Значит,  $18 \cdot \frac{1 \text{ км}}{1 \text{ ч}} = 18 \cdot \frac{1000 \text{ м}}{3600 \text{ с}} = 5 \frac{\text{ м}}{\text{ с}}$ .

Аналогично можно сделать и обратный перевод м/с в км/ч. Выразим скорость автомобиля 20 м/с в км/ч. Так как 1 м = 0,001 км и  $1 \text{ с} = \frac{1}{3600} \text{ ч}$ , получаем  $20 \cdot \frac{1 \text{ м}}{1 \text{ с}} = 20 \cdot \frac{0,001 \text{ км}}{\frac{1}{3600} \text{ ч}} = 20 \cdot 0,001 \cdot 3600 \frac{\text{ км}}{\text{ ч}} = 72 \frac{\text{ км}}{\text{ ч}}$ .

**ФИЗИКА В ЖИЗНИ**

В окружающем нас мире встречаются самые разные скорости. Так, черепаха может ползти со скоростью от 0,05 до 0,14 м/с. Идущий в среднем темпе человек движется со скоростью 1,4 м/с. Скорость гепарда может превышать 30 м/с. Скорость ветра во время урагана может превышать 32,6 м/с. Звук в воздухе распространяется со скоростью приблизительно 333 м/с, а Земля движется вокруг Солнца со скоростью около 30 000 м/с. Скорость света в вакууме — самая большая скорость во Вселенной — равна 299 792 458 м/с.

**НАПРАВЛЕНИЕ СКОРОСТИ.** Скорость, кроме числового значения, всегда имеет направление, следовательно, скорость — это векторная величина. Именно поэтому скорость обозначается как  $\vec{v}$  (со стрелочкой), а её модуль — как  $v$  (без стрелочки).

Так как при прямолинейном движении пройденный телом путь равен модулю вектора перемещения, можно сказать, что векторная физическая величина скорость равна отношению перемещения тела ко времени, за которое это перемещение произошло:

$$\vec{v} = \frac{\vec{s}}{t}$$

При прямолинейном движении направление вектора скорости всегда совпадает с направлением движения тела, т. е. с направлением вектора перемещения.

Говоря о модуле скорости, мы можем понять, насколько быстро или медленно движется физическое тело. Для решения большинства задач необходимо ещё знать, куда направлена скорость тела.



**ГРАФИКИ ЗАВИСИМОСТИ ПУТИ И СКОРОСТИ ОТ ВРЕМЕНИ.** Путь, пройденный телом, и скорость его движения с течением времени могут изменяться. Для большей наглядности эти изменения часто изображают графически.

Для построения графиков на горизонтальной оси (*абсцисс*) откладывают время, а на вертикальной оси (*ординат*) — путь, пройденный телом, или его скорость.

График зависимости скорости от времени при прямолинейном равномерном движении — это прямая, параллельная оси абсцисс. Действительно, с течением времени скорость при таком движении остаётся постоянной.

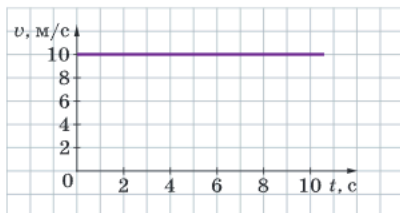


График зависимости скорости тела от времени при прямолинейном равномерном движении

Рассмотрим графики зависимости пути от времени для трёх тел: поезда, велосипедиста и мухи. Чем круче проходит график, т. е. чем больше его угол наклона к оси времени, тем больше скорость движения тела.

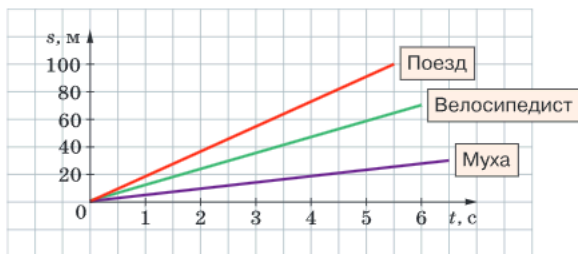


График зависимости пути от времени при прямолинейном равномерном движении



Изучите процесс падения мыльного пузыря и ответьте на вопрос, является ли его движение равномерным.

**ПОМОЩНИК.** В качестве оборудования используйте рулетку, секундомер, мыльный раствор и трубочку для выдувания пузырей. Для получения долгоживущих пузырей добавьте в раствор немного глицерина.

#### ВЫВОДЫ

- ! Скорость при равномерном движении тела показывает, какой путь проходит тело за единицу времени.
- ! Скорость — векторная величина.

#### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Равномерное движение; скорость; векторная физическая величина

#### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Одинакова ли скорость тела в начале и в конце любого отрезка пути при прямолинейном равномерном движении?
2. Может ли значение скорости быть отрицательным?
3. Может ли график зависимости пути от времени быть: прямой, параллельной оси абсцисс (оси времени); прямой, параллельной оси ординат?

# ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ МЕХАНИЧЕСКОГО ДВИЖЕНИЯ § 22

## НОВОЕ В УРОКЕ

- В чём состоит относительность механического движения.

## ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

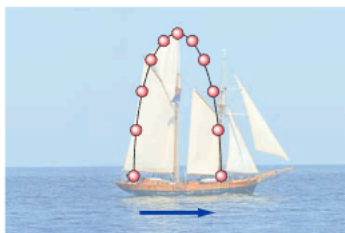
- Что такое механическое движение?
- Что такое тело отсчёта?

Изменение положения тел в пространстве рассматривается относительно других тел. При этом форма траектории, скорость, пройденный путь и другие характеристики движения зависят от положения точки наблюдения.

**ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ ТРАЕКТОРИИ.** Представьте себе, что вы плывёте на корабле и, стоя на палубе, подбросили и поймали мяч. Для вас мяч движется вертикально вверх, а затем падает вниз. Однако для наблюдателя, находящегося на берегу, траектория движения мяча будет более сложной линией — параболой, так как, кроме движения по вертикали, мяч движется равномерно вперёд вместе с кораблём.



Траектория мяча относительно корабля



Траектория мяча относительно наблюдателя на берегу

Это означает, что **форма траектории зависит от выбора тела отсчёта**. В первом случае телом отсчёта является корабль, во втором — берег или неподвижный наблюдатель на берегу.

**ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ ПУТИ И ПЕРЕМЕЩЕНИЯ.** Относительно палубы корабля мяч движется вверх и вниз по прямой, поэтому путь, пройденный мячом, равен удвоенному расстоянию от нижней до верхней точки траектории. Относительно наблюдателя, стоящего на берегу, мяч движется по параболе, и пройденный мячом путь, очевидно, будет больше, чем пройденный путь в первом случае.

Следовательно, **пройденный телом путь зависит от выбора тела отсчёта**.

Аналогичный вывод можно сделать по относительности перемещения тела. Действительно, относительно палубы корабля перемещение мяча равно нулю, так как он возвращается в начальное положение. А относительно наблюдателя на берегу перемещение мяча будет равно расстоянию, на которое переместится корабль за время движения мяча.

Значит, **перемещение тела также зависит от выбора тела отсчёта**.

**ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ СКОРОСТИ.** Так как пройденный путь и перемещение тела зависят от выбора тела отсчёта, то и скорость движения тела будет разной относительно разных наблюдателей.

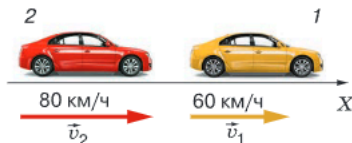
Пусть два автомобиля приближаются навстречу друг другу каждый со скоростью 60 км/ч относительно земли. Тогда скорость сближения автомобилей будет равна 120 км/ч, т. е. для наблюдателя в одном из автомобилей другой автомобиль будет казаться приближающимся со скоростью 120 км/ч.



$$v_{12} = v_1 + v_2 = 60 \text{ км/ч} + 60 \text{ км/ч} = 120 \text{ км/ч.}$$

Аналогично, когда автомобиль, движущийся со скоростью 80 км/ч, обгоняет другой автомобиль, скорость которого равна 60 км/ч, скорость сближения будет равна

$$v_{21} = v_2 - v_1 = 80 \text{ км/ч} - 60 \text{ км/ч} = 20 \text{ км/ч.}$$



Если же оба автомобиля движутся в одном направлении с одинаковыми скоростями, то относительно друг друга они будут неподвижны.

Таким образом, **значение скорости также зависит от выбора тела отсчёта.**

#### ВЫВОД

! Форма траектории, скорость, пройденный путь и перемещение зависят от выбора тела отсчёта.

#### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Относительность движения; относительность траектории; относительность пути и перемещения; относительность скорости

#### И ВОПРОСЫ ЗАДАНИЯ

1. Приведите примеры, в которых характеристики механического движения зависят от выбора тела отсчёта.
2. Человек идёт по вагону движущегося поезда. Опишите, чему равны пройденный человеком путь и его скорость относительно земли и вагона в случаях, когда человек идёт: по ходу движения поезда; против движения.

# СРЕДНЯЯ СКОРОСТЬ. УСКОРЕНИЕ

## § 23

### НОВОЕ В УРОКЕ

- Как можно определить среднюю скорость при неравномерном прямолинейном движении тела.
- Что такое ускорение.

### ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Какое движение тела называется равномерным?
- Что такое путь?
- Что такое скорость?
- Какие единицы скорости вы знаете?
- Как определить скорость тела при прямолинейном равномерном движении?

В окружающем нас мире мы крайне редко сталкиваемся с равномерным движением. Обычно скорость тела изменяется с течением времени, и за одинаковые промежутки времени тело проходит неодинаковые пути. Такое движение является неравномерным. Однако никого не удивляет, когда мы говорим, что ехали на автомобиле со скоростью 60 км/ч, хотя при этом подразумевается, что мы и тормозили, и останавливались перед светофорами, и вновь увеличивали скорость. О какой же скорости тогда идёт речь?

**СРЕДНЯЯ СКОРОСТЬ.** Для характеристики неравномерного движения вводят понятие *средней скорости*. Средняя скорость тела при неравномерном движении находится так же, как и скорость при равномерном движении, т. е. весь пройденный телом путь необходимо разделить на полное время движения тела, включая остановки:

$$\text{средняя скорость} = \frac{\text{путь}}{\text{время}}.$$

### ВАЖНО

Если обозначить величины: средняя скорость —  $v_{\text{cp}}$ , путь —  $s$  и время —  $t$ , то **среднюю скорость** движения рассчитывают по формуле

$$v_{\text{cp}} = \frac{s}{t}.$$



Полученное значение показывает среднюю скорость движения тела на всём пути, и оно может не совпадать со значением скорости в различные моменты времени движения.

Предположим, что автомобиль проехал путь  $s$ , состоящий из участков  $s_1$ ,  $s_2$  и  $s_3$ , причём прохождение каждого из них заняло соответственно время  $t_1$ ,  $t_2$  и  $t_3$ . Для определения средней скорости движения автомобиля надо весь пройденный путь разделить на общее время движения:

$$v_{\text{cp}} = \frac{s_1 + s_2 + s_3}{t_1 + t_2 + t_3}.$$

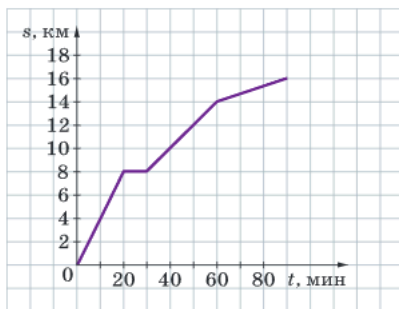
Зная среднюю скорость движения тела и время движения, можно вычислить пройденный за это время путь по формуле  $s = v_{\text{ср}} t$ .

Если нам известны средняя скорость движения и пройденный путь, мы можем определить время движения по формуле

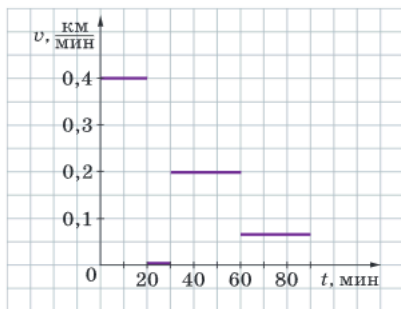
$$t = \frac{s}{v_{\text{ср}}}.$$

**ГРАФИКИ ЗАВИСИМОСТИ ПУТИ И СКОРОСТИ ОТ ВРЕМЕНИ ПРИ НЕРАВНОМЕРНОМ ДВИЖЕНИИ.** В отличие от графиков прямолинейного равномерного движения, при неравномерном движении графики зависимости скорости и пути от времени могут выглядеть совершенно по-разному в зависимости от конкретной задачи.

Рассмотрим пример. Пусть велосипедист при движении из одного города в другой сначала проехал 8 км за 20 мин. Затем, отдохнув 10 мин, проехал ещё 6 км за 30 мин, а оставшиеся 2 км прошёл пешком за 30 мин. Допустим, что в пределах каждого временного интервала велосипедист двигался с постоянными скоростями. В этом случае графики зависимости пути и скорости от времени будут выглядеть так, как изображено на рисунках *а* и *б*.



а)



б)

а — график зависимости пути, пройденного велосипедистом, от времени;

б — график зависимости скорости велосипедиста от времени

**РАВНОПЕРЕМЕННОЕ ДВИЖЕНИЕ.** Предположим, в начале определённого отрезка времени мы движемся в автомобиле со скоростью  $v_0$ . Автомобиль начинает увеличивать скорость, и через время  $t$  его скорость становится равной  $v$ . Если за любые одинаковые промежутки времени скорость этого автомобиля увеличивалась на одно и то же значение, то в течение времени  $t$  автомобиль двигался *равноускоренно*.

Прямолинейным равнопеременным движением называется движение, при котором траекторией тела является прямая линия и за любые равные промежутки времени скорость тела изменяется (увеличивается или уменьшается) на одно и то же значение.

**УСКОРЕНИЕ.** В физике существует величина, характеризующая *изменение скорости* тела при неравномерном движении. Она называется ускорением и обозначается латинской буквой  $a$ . Для того чтобы вычислить ускорение при равнопеременном движении, необходимо найти отношение изменения скорости ко времени, в течение которого это изменение произошло:

$$\text{ускорение} = \frac{\text{изменение скорости}}{\text{время}}.$$

**ВАЖНО**

Если обозначить величины: ускорение —  $a$ , время движения тела —  $t$ , начальная скорость —  $v_0$  и скорость через время  $t$  —  $v$ , то **ускорение** рассчитывается по формуле

$$a = \frac{v - v_0}{t}.$$

Ускорение может принимать как положительные, так и отрицательные значения. Если скорость тела в начале движения ( $v_0$ ) меньше скорости тела в конце движения ( $v$ ), то при вычислении ускорения положительное число ( $v - v_0$ ) делится на положительное число ( $t$ ) и получается положительное значение ускорения ( $a$ ).

Если же тело замедляется, то значение начальной скорости оказывается больше значения скорости в конце движения, разность ( $v - v_0$ ) становится отрицательной и значение ускорения тоже оказывается меньше нуля.

**ЕДИНИЦЫ УСКОРЕНИЯ.** В Международной системе единиц (СИ) за единицу ускорения принимают ускорение такого равнопеременного движения, при котором скорость движущегося тела за время 1 с изменяется на 1 м/с.

Эту единицу называют *метр на секунду в квадрате* и обозначают м/с<sup>2</sup>:

$$\frac{1 \text{ м/с}}{1 \text{ с}} = 1 \frac{\text{м}}{\text{с} \cdot \text{с}} = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

! Чтобы найти среднюю скорость тела при неравномерном движении, нужно весь пройденный телом путь разделить на полное время движения тела, включая остановки.

! Ускорение характеризует быстроту изменения скорости тела при равнопеременном движении.

**ВЫВОДЫ**

Неравномерное движение; средняя скорость; ускорение

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА**

**И ВОПРОСЫ ЗАДАНИЯ**

1. Как определяют среднюю скорость при неравномерном движении?
2. Может ли отличаться скорость тела на отдельном участке пути от его средней скорости движения, и если да, то почему?
3. Как определить ускорение тела при равноускоренном движении?
4. Каковы единицы ускорения в СИ и могут ли существовать другие единицы ускорения?



- **Средняя скорость** живых существ (гепарда, кролика, черепахи и др.).
- Догонит ли хищник жертву.
- **Средняя скорость** человека (идущего пешком, бегуна, лыжника, гловца и др.).
- **Ускорение** спортсмена на старте и перед финишем.



## § 24 ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТИ

### НОВОЕ В УРОКЕ

- С помощью каких приборов определяют скорость транспортных средств.
- С помощью каких приборов определяют скорость ветра и воды.

### ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое скорость?
- Как определить скорость равномерного движения?

В античной механике не было математической формулировки скорости движения. Вплоть до XVII в. учёные не использовали понятие скорости в том виде, в котором мы понимаем его сейчас. Хотя люди уже умели измерять расстояния и время, но делить эти неоднородные величины им казалось бессмысленным, так же как и сравнивать, например, расстояние и массу.

**СКОРОСТЬ НА МОРЕ.** Один из первых способов определения скорости движения судов состоял в следующем. С носа корабля бросали в воду кусок доски или другой плавучий предмет и определяли, сколько времени пройдёт, пока корма корабля достигнет этого предмета. Конечно, такой способ оценки скорости был приблизительным, поскольку часы и хронометры для измерения времени были изобретены намного позднее. Промежуток времени чаще всего определяли произнесением повторяющихся фраз.

В конце XVI в. появилось новое устройство для измерения скорости движения судов, называемое *лагом*. Лаг состоял из деревянной доски с грузом и привязанной к ней верёвки. На верёвке на равном расстоянии друг от друга (примерно 15,5 м) были завязаны узлы. Для отсчёта времени использовали песочные часы, рассчитанные на 30 с. Доску бросали в воду, а судно двигалось вперёд. При этом верёвка свободно разматывалась с катушки, и матросы подсчитывали число узлов, которые ушли за борт, пока сыпался песок в песочных часах.



### ЭТО ИНТЕРЕСНО

Этот способ измерения скорости объясняет происхождение названия единицы скорости в мореходной и авиационной практике — **узел**. В современной навигации 1 узел — это скорость такого равномерного движения, при котором тело за 1 ч проходит путь, равный 1 морской миле (1852 м). Таким образом, 1 узел = 1,852 км/ч  $\approx$  0,5 м/с. Современные морские суда способны развивать скорость около 40 узлов, т. е. свыше 20 м/с.

Современные приборы позволяют измерять скорость судна относительно воды по изменению напора потока воды или относительно дна с помощью специальных ультразвуковых сигналов, которые посылаются с корабля на дно и, отразившись, приходят обратно.

**СКОРОСТЬ НА СУШЕ.** Первый прибор для измерения расстояний был изобретён в Китае в III в. до н. э. Этот механизм представлял собой лёгкую тележку с системой зубчатых передач, соединённых с колесом и барабаном. После каждого прохождения расстояния в 576 м раздавался удар барабана. Древние римляне на колёсах колесницы делали специальные отметки и, подсчитывая обороты колеса, могли оценить среднее расстояние и скорость. Именно на этом основан современный прибор одометр, предназначенный для измерения числа оборотов колеса, а следовательно, и пройденного транспортным средством пути.

Прибор для измерения скорости транспортного средства называется спидометром. Первый спидометр был изобретён и установлен на автомобиле в 1901 г.

В 1916 г. изобретатель Никола Тесла запатентовал модель спидометра, принцип работы которого до сих пор используется в современных автомобилях.

Спидометры подразделяются на механические, электромеханические и электронные. Чтобы понять принцип работы спидометра, вам необходимо изучить физику на достаточно глубоком уровне, особенно разделы, касающиеся электричества.

В показаниях любых спидометров присутствует погрешность, которая зависит от покрытия дороги, давления в шинах, скорости движения и других факторов.

Для определения и контроля скорости участников дорожного движения применяются радары.



**СКОРОСТЬ ВЕТРА И ВОДЫ.** Прибор, который измеряет скорость и направление ветра, называется анемометром. Анемометры являются важными инструментами для метеорологов, которые изучают погодные явления, а также для физиков, изучающих движение воздуха и газов. Анемометр простейшего типа имеет три или четыре чашечки, закреплённые на вертикальном стержне. Под действием ветра чашечки приходят в движение, заставляя вращаться стержень. Чем сильнее дует ветер, тем быстрее вращаются чашечки. По числу оборотов, которые делают чашечки за определённое время, вычисляется скорость ветра.



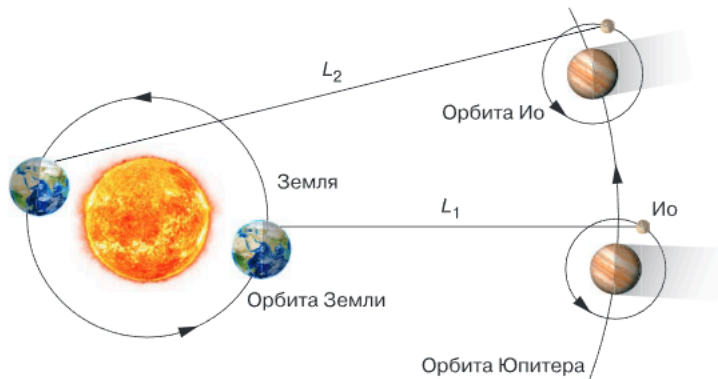
На похожем принципе основан прибор вертушка, предназначенный для измерения скорости течения воды в реках или каналах.

**СКОРОСТЬ СВЕТА.** Античные учёные считали, что свет распространяется в пространстве мгновенно. Такая точка зрения господствовала на протяжении более двух тысяч лет. Даже такие великие учёные, как Декарт, Кеплер и Ферма, придерживались этой точки зрения. Сегодня нам уже известно, что скорость света — это самая большая скорость во Вселенной и её значение составляет 300 000 км/с. Посчитаем, сколько раз свет смог бы обогнуть Землю за 1 с, двигаясь по экватору. Считая, что длина экватора составляет 40 000 км, получим:  $300\,000 : 40\,000 \approx 7,5$  раза!

Первый исторически известный эксперимент по определению скорости света выполнил Г. Галилей. Идея опыта была гениально проста. Галилей и его помощник стояли на вершинах двух холмов, расположенных доста-

точно далеко друг от друга. При этом расстояние между холмами было известно. В некоторый момент Галилей открывал свой фонарь и в этот же момент начинал отсчёт времени. Его помощник, увидев свет, посылал световой сигнал своим фонарём обратно. Когда Галилей видел свет фонаря помощника, он тотчас заканчивал отсчёт времени. Зная расстояние и время, Галилей надеялся вычислить скорость света. Проведя ряд подобных опытов, он вынужден был признать, что измерить длительность временного интервала между посылкой светового сигнала и его приёмом не представляется возможным. Для получения результата, близкого к истинному значению, холмы в этом опыте должны были бы находиться на расстоянии в несколько миллионов километров друг от друга.

В 1676 г. датский астроном О. Рёмер впервые применил *астрономический метод* измерения скорости света, который увенчался успехом. Он наблюдал затмения одного из спутников (спутник Ио) самой большой планеты Солнечной системы — Юпитера. Рёмер в телескоп хорошо видел, как спутник проходил перед планетой, а затем исчезал из поля зрения, заходя в её тень. Через некоторое время спутник Ио вновь появлялся в виде крохотной звёздочки. Рёмер обнаружил, что интервал времени между заходом Ио в область тени и его выходом увеличивается по мере отдаления Земли от Юпитера. Предположив, что время запаздывания связано с тем, что Земля удаляется от Юпитера на расстояние диаметра земной орбиты, Рёмер вычислил значение скорости света. Это значение оказалось необычайно большим, равным примерно 230 000 км/с. Это была первая достаточно достоверная оценка скорости света. Точные значения скорости света были получены значительно позже.



## Вывод

! В зависимости от ситуации используются различные приборы для измерения скорости.

## Ключевые слова

Лаг; спидометр; одометр; анемометр; вертушка

## и вопросы задания

1. Объясните принцип действия лага.
2. Как определяется скорость с помощью анемометра и вертушки?
3. На чём основан астрономический метод определения скорости света?

# РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ § 25

- **ЗАДАЧА 1.** Самое быстрое сухопутное животное — гепард может за 35 с преодолеть расстояние 1 км. Самая быстрая из птиц — сапсан в пикирующем полёте за добычей разгоняется до скорости свыше 320 км/ч. Определите, чья скорость больше и во сколько раз.

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:

$$t_r = 35 \text{ с}$$

$$s_r = 1 \text{ км}$$

$$v_c = 320 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$$

$$\frac{v_c}{v_r} - ?$$

СИ

$$1000 \text{ м}$$

Решение.

Вычислим скорость гепарда:

$$v_r = \frac{s_r}{t_r}; \quad v_r = \frac{1000 \text{ м}}{35 \text{ с}} \approx 28,6 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Чтобы сравнивать скорости гепарда и сапсана, они должны быть выражены в одинаковых единицах.

Выразим скорость сапсана в м/с:

$$320 \frac{\text{км}}{\text{ч}} = 320 \frac{1000 \text{ м}}{3600 \text{ с}} \approx 88,9 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\frac{v_c}{v_r} = \frac{88,9}{28,6} \approx 3,1.$$

Ответ: скорость сапсана больше примерно в 3,1 раза.

- **ЗАДАЧА 2.** Пассажирский самолёт имеет крейсерскую скорость 925 км/ч (на *крейсерской скорости* самолёт потребляет наименьшее количество топлива при длительных перелётах) и максимальную дальность полёта 11 900 км. Определите путь самолёта за 7 мин и время полёта самолёта при максимальной дальности перелёта, считая его движение равномерным.

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:

$$v = 925 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$$

$$t_1 = 7 \text{ мин}$$

$$s_2 = 11\,900 \text{ км}$$

$$s_1 - ?$$

$$t_2 - ?$$

Решение.

Выразим время  $t_1$  в часах:  $t_1 = 7 \text{ мин} = \frac{7}{60} \text{ ч}$ .

Найдём путь и время:

$$s_1 = vt_1;$$

$$s_1 = 925 \frac{\text{км}}{\text{ч}} \cdot \frac{7}{60} \text{ ч} \approx 108 \text{ км}.$$

$$t_2 = \frac{s_2}{v};$$

$$t_2 = \frac{11\,900 \text{ км}}{925 \text{ км/ч}} \approx 12,86 \text{ ч} = 12 \text{ ч } 52 \text{ мин}.$$

Ответ: 108 км; 12 ч 52 мин.

- **ЗАДАЧА 3.** Вернёмся к примеру, рассмотренному в § 23. Велосипедист при движении из одного города в другой сначала проехал 8 км за 20 мин. Затем, отдохнув 10 мин, проехал ещё 6 км за 30 мин, а оставшиеся 2 км прошёл пешком за 30 мин. Определите средние скорости движения велосипедиста на каждом участке пути и среднюю скорость велосипедиста на всём пути.

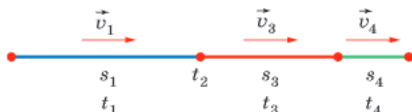
Запишем условие задачи и решим её.

Дано:

$$\begin{aligned} s_1 &= 8 \text{ км} \\ t_1 &= 20 \text{ мин} \\ s_2 &= 0 \\ t_2 &= 10 \text{ мин} \\ s_3 &= 6 \text{ км} \\ t_3 &= 30 \text{ мин} \\ s_4 &= 2 \text{ км} \\ t_4 &= 30 \text{ мин} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v_1 &- ? \\ v_2 &- ? \\ v_3 &- ? \\ v_4 &- ? \\ v_{\text{ср}} &- ? \end{aligned}$$

Решение.



Выразим каждый промежуток времени в часах:

$$t_1 = 20 \text{ мин} = \frac{20}{60} \text{ ч} = \frac{1}{3} \text{ ч.}$$

$$t_2 = 10 \text{ мин} = \frac{10}{60} \text{ ч} = \frac{1}{6} \text{ ч.}$$

$$t_3 = t_4 = 30 \text{ мин} = \frac{30}{60} \text{ ч} = \frac{1}{2} \text{ ч.}$$

Вычислим скорости движения велосипедиста на каждом участке пути:

$$v_1 = \frac{s_1}{t_1} = \frac{8 \text{ км}}{\frac{1}{3} \text{ ч}} = 24 \frac{\text{км}}{\text{ч}}; \quad v_2 = 0;$$

$$v_3 = \frac{s_3}{t_3} = \frac{6 \text{ км}}{\frac{1}{2} \text{ ч}} = 12 \frac{\text{км}}{\text{ч}};$$

$$v_4 = \frac{s_4}{t_4} = \frac{2 \text{ км}}{\frac{1}{2} \text{ ч}} = 4 \frac{\text{км}}{\text{ч}}.$$

$$\text{Средняя скорость: } v_{\text{ср}} = \frac{s_1 + s_2 + s_3 + s_4}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4};$$

$$v_{\text{ср}} = \frac{8 \text{ км} + 0 \text{ км} + 6 \text{ км} + 2 \text{ км}}{\frac{1}{3} \text{ ч} + \frac{1}{6} \text{ ч} + \frac{1}{2} \text{ ч} + \frac{1}{2} \text{ ч}} = \frac{16 \text{ км}}{1,5 \text{ ч}} \approx 11 \frac{\text{км}}{\text{ч}}.$$

Обратите внимание, что средняя скорость  $v_{\text{ср}}$  не равна среднему арифметическому значению скоростей  $v_1, v_2, v_3, v_4$ .

Ответ: 24 км/ч; 0; 12 км/ч; 4 км/ч; 11 км/ч.

- **ЗАДАЧА 4.** Автомобиль, двигаясь на прямолинейном участке пути, разогнался и увеличил свою скорость с 15 до 20 м/с за время 10 с. Но, заметив впереди светофор, водитель вынужден был затормозить. Время торможения до полной остановки автомобиля составило 5 с. Вычислите ускорение автомобиля при разгоне и при торможении.

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:

$$v_1 = 15 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$v_2 = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$v_3 = 0$$

$$t_1 = 10 \text{ с}$$

$$t_2 = 5 \text{ с}$$

$$a_1 = ?$$

$$a_2 = ?$$

Решение.

$$a_1 = \frac{v_2 - v_1}{t_1}; \quad a_1 = \frac{20 \frac{\text{м}}{\text{с}} - 15 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{10 \text{ с}} = \frac{5 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{10 \text{ с}} = 0,5 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

Заметим, что в этом случае ускорение положительно, так как скорость автомобиля увеличивается.

$$a_2 = \frac{v_3 - v_2}{t_2};$$

$$a_2 = \frac{0 \frac{\text{м}}{\text{с}} - 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{5 \text{ с}} = \frac{-20 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{5 \text{ с}} = -4 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

При торможении автомобиля его ускорение отрицательно, так как скорость уменьшается.

Ответ:  $0,5 \text{ м/с}^2$ ;  $-4 \text{ м/с}^2$ .

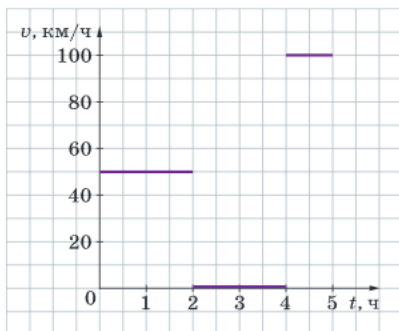
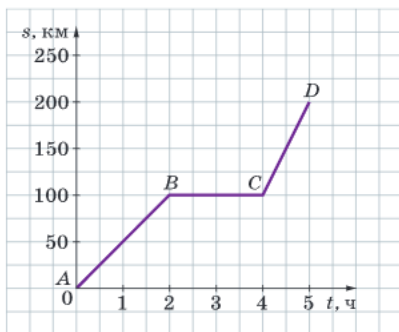
- **ЗАДАЧА 5.** На рисунке изображён график зависимости пути, пройденного автомобилем, от времени. Определите скорости на каждом из участков пути и среднюю скорость на всём пути, постройте график зависимости скорости движения автомобиля от времени.

Решение.

Проанализируем график зависимости пути от времени. Видно, что на участке  $AB$  автомобиль двигался равномерно, на участке  $BC$  движения не было, на участке  $CD$  движение автомобиля опять равномерное, но уже с другой скоростью. На участке  $AB$  автомобиль преодолел расстояние 100 км за 2 ч. Значит, скорость движения на этом участке  $v_1 = \frac{100}{2} = 50 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ .

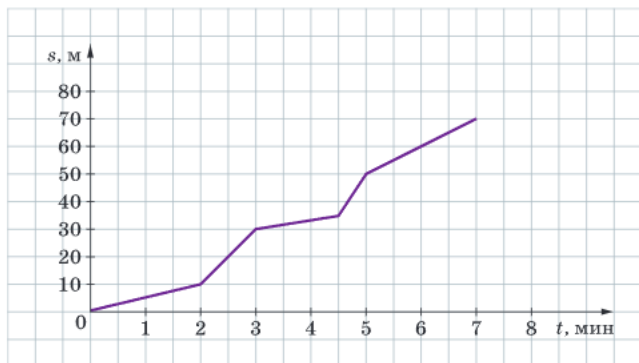
На участке  $BC$  скорость автомобиля равна нулю:  $v_2 = 0$ . На участке  $CD$  автомобиль проехал 100 км за 1 ч, следовательно,  $v_3 = 100 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ . Всего за 5 ч автомобиль проехал путь 200 км. Значит, средняя скорость  $v_{\text{ср}} = \frac{200}{5} = 40 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ .

По полученным значениям скорости на участках пути построим график зависимости скорости от времени на всём пути.



## Задачи для самостоятельного решения

- 1 Какая скорость больше:  $10,0$  м/с или  $38$  км/ч;  $32,0$  м/с или  $110$  км/ч?
- 2 Велосипедист проехал  $1600$  м за  $8$  мин. С какой скоростью двигался велосипедист и какое расстояние он сможет преодолеть, двигаясь с той же скоростью ещё  $25$  мин?
- 3 Поезд, двигаясь неравномерно, проехал  $100$  км за  $2$  ч и  $250$  км за  $3$  ч. Определите среднюю скорость движения поезда на каждом участке пути и на всём пути.
- 4 Автомобиль первый километр пути проехал со скоростью  $60$  км/ч, второй километр пути — со скоростью  $40$  км/ч и оставшиеся  $3$  км — со скоростью  $90$  км/ч. Рассчитайте среднюю скорость автомобиля.
- 5 Поезд движется на прямолинейном участке пути со скоростью  $36$  км/ч. В течение следующих  $2$  мин скорость поезда увеличивается в  $2$  раза. Определите, чему равно ускорение поезда, считая его движение равноускоренным.
- 6 На рисунке изображён график зависимости пути, пройденного черепахой, от времени. Определите скорости на каждом из участков пути и среднюю скорость на всём пути, постройте график зависимости скорости движения черепахи от времени.



# ИНЕРЦИЯ § 26

## НОВОЕ В УРОКЕ

- Что такое инерция.
- Что такое движение по инерции.
- Как ведёт себя тело, если на него не действуют другие тела.

## ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое механическое движение?
- Что такое тело отсчёта?
- Что такое равномерное прямолинейное движение?
- Что такое неравномерное движение?

Знания об окружающем нас мире подсказывают, что изменение скорости тела (по значению и направлению) не происходит самопроизвольно, а случается лишь тогда, когда на тело воздействуют другие тела. Например, играя с мячом, мы изменяем скорость его движения, ударяя по нему рукой или ногой. Скорость езды на велосипеде можно увеличить, если начать крутить педали быстрее. Автомобиль начинает тормозить, если нажать на тормоз. А что происходит с телом, если на него не действуют другие тела?

## ЗАВИСИМОСТЬ ХАРАКТЕРА ДВИЖЕНИЯ ТЕЛА ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НЕГО.

Сначала попытаемся ответить на вопрос «Почему движущиеся тела останавливаются?». Например, почему останавливается мяч, катящийся по земле. Понятно, что в одних случаях мяч останавливается быстро, а в других — медленнее. Зависит это от того, насколько гладкой является поверхность, по которой он движется, и встречаются ли на его пути препятствия (ямы, камни и т. п.). Очевидно, что чем более гладкой является поверхность, тем дольше и дальше будет катиться мяч.

А теперь представим себе ситуацию, когда на движущийся мяч не действуют никакие другие тела. Каким в этом случае будет характер движения мяча?

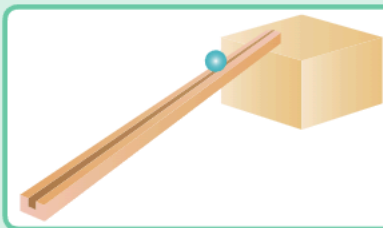
## ЭТО ИНТЕРЕСНО

Не всегда наши наблюдения позволяют понять истинные причины того или иного сложного явления. Когда мы видим в кинофильмах движущуюся повозку с лошадью или вспоминаем, как мы сами катаемся на самокате, то интуитивно связываем движение тела с внешним воздействием. Это может быть толчок или тяга. Более того, кажется правильным предположение, что скорость тела также связана с величиной внешнего воздействия.

Такой точки зрения придерживался и древнегреческий учёный Аристотель. Он утверждал, что причиной любого движения является воздействие чего-либо на движущееся тело, т. е. движение без постороннего воздействия на тело невозможно. В качестве одного из аргументов он приводил пример с лошадью и телегой. Пока лошадь везёт телегу, та движется. Если лошадь остановится, телега двигаться перестанет. Авторитет Аристотеля в науке был так высок, что это его утверждение являлось непререкаемым на протяжении более двух тысячелетий.

И только в XVII в. Галилео Галилей доказал ошибочность этого утверждения. Он разработал метод научного рассуждения и применил его

к анализу движения. Чтобы проникнуть в суть природы движения, он провёл мысленный эксперимент. Можно сказать, Галилей построил модель явления. Предположим, что у нас есть абсолютно гладкая наклонная плоскость, по которой тело движется без трения. При движении тела вверх по наклонной плоскости оно замедляется. При движении вниз по наклонной плоскости тело ускоряется. Галилей задал вопрос о том, как будет двигаться тело по горизонтальной поверхности. И пришёл к выводу, что, если ничего не будет мешать телу, оно будет продолжать двигаться равномерно, т. е. не изменяя скорости и направления своего движения. Этот научный вывод Галилея был затем сформулирован Ньютоном в виде первого закона механики — **закона инерции**.



**ДВИЖЕНИЕ ПО ИНЕРЦИИ.** Чем меньше действие других тел на движущееся тело, тем медленнее изменяется скорость его движения и тем больше движение тела похоже на равномерное.

Изучая закономерности движения, Галилей пришёл к выводу, что **если на тело не действуют другие тела, то оно или находится в покое, или движется прямолинейно и равномерно**.

Это утверждение называется законом инерции.

Явление сохранения скорости тела при отсутствии действия на него других тел называется **инерцией** (от лат. *inertia* — неподвижность).

Движение тела при отсутствии действия на него других тел называется движением по инерции.

Например, если выключить двигатель автомобиля, он будет продолжать двигаться дальше. Он смог бы сохранить скорость своего движения, если бы не трение шин о дорогу и не сопротивление среды.

**ПРИМЕРЫ ИНЕРЦИИ.** Движение по инерции мы наблюдаем постоянно и настолько к нему привыкли, что часто даже не замечаем его.

### ФИЗИКА В ЖИЗНИ



а)



б)

Например, при резком торможении автобуса пассажиры в течение короткого периода времени продолжают по инерции своё движение и наклоняются вперёд (рис. а). Когда же автобус неожиданно трогается с места, пассажиры по инерции продолжают оставаться в покое и в первый момент отклоняются назад (рис. б).

Инерция объясняет невозможность мгновенной остановки автомобиля, даже если водитель резко нажал на тормоз.

Если человек бежит достаточно быстро, он не способен остановиться мгновенно, по инерции он сделает ещё хотя бы несколько шагов.

**ПРИЧИНЫ ИЗМЕНЕНИЯ СКОРОСТИ.** Повседневный опыт показывает, что, если на катящийся мяч никак не воздействовать, он в конце концов остановится. Если велосипедист прекращает крутить педали, то скорость велосипеда начинает снижаться и он через некоторое время останавливается. Нет ли здесь противоречия с законом инерции? Противоречия нет. Это происходит потому, что движению тела оказывает сопротивление воздух, трение о поверхность и т. д. В противном случае тела двигались бы по инерции, т. е. равномерно и прямолинейно.

При взаимодействии тел скорость может изменяться как по значению, так и по направлению. Например, при игре в теннис мяч меняет направление движения после удара ракеткой по нему.



**ВАЖНО**

**Изменение скорости тела (значения и/или направления) происходит в результате действия на него другого тела.**

- ! Явление сохранения скорости тела при отсутствии действия на него других тел называется инерцией.
- ! Изменение скорости тела (значения и направления) происходит в результате действия на него другого тела.

**ВЫВОДЫ**

Инерция; движение по инерции; закон инерции

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА**

**И ВОПРОСЫ ЗАДАНИЯ**

1. Что называется инерцией?
2. Какое движение называется движением по инерции?
3. Как движется тело, если на него не действуют другие тела?
4. Почему длина тормозного пути тяжёлого грузовика больше тормозного пути легкового автомобиля?
5. Почему запрещается резко поднимать груз подъёмным краном?
6. Приведите примеры, когда инерция приносит пользу и когда — вред.
7. Почему по правилам дорожного движения запрещается: неожиданно появляться перед движущимся транспортом; не пристёгиваться ремнём безопасности при поездке в автомобиле; превышать допустимую скорость движения?

## § 27 ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТЕЛ И МАССА

### НОВОЕ В УРОКЕ

- Что такое взаимодействие тел.
- Что такое масса.
- Каковы единицы массы.

### ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Как ведёт себя тело, если на него не действуют другие тела?
- Что такое инерция?

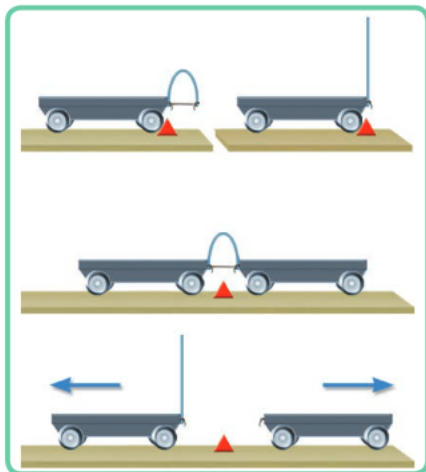
Мы знаем, что изменение скорости тела происходит в результате воздействия на него другого тела. Если мы говорим, что первое тело действует на второе, то и второе тело, по-видимому, как-то действует на первое. Поэтому принято говорить о взаимодействии тел.

**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТЕЛ.** Действие тел друг на друга называется взаимодействием. Со взаимодействием тел мы часто сталкиваемся в повседневной жизни. Удар ноги по мячу, столкновение бильярдных шаров, сжатие пружины, давление подошвы на землю — всё это примеры взаимодействия тел.

**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТЕЛ И ИЗМЕНЕНИЕ ИХ СКОРОСТИ.** Обычно наш жизненный опыт позволяет безошибочно определить, какое тело имеет большую массу, а какое — меньшую, без измерительных приборов.

Представим себе, что мы хотим раскатать или остановить качели, стоя около них. Очевидно, что в случае, когда на качелях сидит человек, это сделать труднее, чем в случае, когда на качелях никого нет. Это означает, что чем массивнее тело, тем труднее изменить его скорость. В нашем примере во взаимодействии участвовали следующие тела: качели (пустые или вместе с сидящим на них человеком) и человек, раскачивающий их.

### ИССЛЕДОВАНИЕ



Возьмём две одинаковые тележки. Прикрепим к первой тележке упругую пластинку, изогнутую и связанную нитью (см. рисунок).

Если перерезать нить, пластинка, выпрямляясь, не действует на другие тела. Поэтому тележка остаётся в покое и её скорость не изменяется.

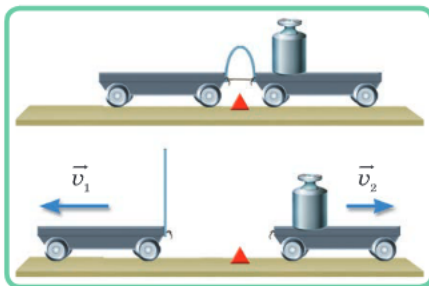
Поставим вторую тележку вплотную к согнутой пластинке. Теперь пластинка, выпрямляясь, действует на вторую тележку, а та, в свою очередь, действует на первую. В результате обе тележки начинают двигаться относительно стола в разные стороны.

Опыт подтверждает, что действие одного тела на другое не может быть односторонним, оба тела действуют друг на друга, т. е. взаимодействуют.

В результате взаимодействия оба тела могут изменить свою скорость (начать движение или остановиться), а также изменить направление своего движения. При этом у разных тел скорости изменяются по-разному.

## ИССЛЕДОВАНИЕ

Продолжим изучать движение тележек, к одной из которых прикреплена пластина, стянутая нитью. Если в опыте участвуют одинаковые тележки, то после разрезания нити они будут разъезжаться примерно с одинаковыми скоростями. Если же на одну из тележек положить гиру, то после разрезания нити она будет двигаться значительно медленнее.



В нашей жизни мы часто сталкиваемся с примерами взаимодействия тел. Рассмотрим взаимодействие пушки и снаряда. Перед выстрелом снаряд находится в покое относительно пушки. Во время выстрела снаряд и пушка взаимодействуют и начинают двигаться в противоположные стороны. Происходит явление *отдачи*.

**ПОНЯТИЕ ИНЕРТНОСТИ.** Говорят, что тело, которое при взаимодействии меньше изменяет свою скорость, более инертно и имеет большую массу. Тело, которое при взаимодействии больше изменяет свою скорость, менее инертно и имеет меньшую массу. Таким образом, инертностью называется свойство тела сохранять состояние покоя или свою скорость, если тело двигалось.

## ФИЗИКА В ЖИЗНИ

Даже ребёнку достаточно просто разогнать или остановить игрушечную машинку, но нужен мощный электровоз, чтобы сдвинуть с места гружёный состав. Ракеткой для бадминтона просто изменить скорость и направление движения лёгкого волана. Но такая ракетка непригодна для игры в большой теннис. Эти примеры подтверждают, что изменение скорости тела при взаимодействии зависит от массы тела.

**ПОНЯТИЕ МАССЫ.** На протяжении всей истории физики учёные неоднократно возвращались к обсуждению понятия *массы*. При кажущейся на первый взгляд простоте это понятие таит в себе много интересного, и мы к этому ещё вернёмся при дальнейшем изучении физики. На самом деле понятие массы относится к числу наиболее фундаментальных и первичных характеристик объектов материального мира.

Масса тела — это физическая величина, которая характеризует его инертность, т. е. чем больше масса тела, тем труднее изменить его скорость при взаимодействии.

Массу принято обозначать латинской буквой *m*.

Любое тело — человек, Земля, Солнце, капелька воды, атом, молекула и т. д. — обладает массой.

**ЕДИНИЦЫ МАССЫ.** В Международной системе единиц (СИ) за единицу массы принят *килограмм* (кг). На практике, кроме килограмма, используют и другие кратные и дольные единицы массы: *тонна* (т), *центнер* (ц), *грамм* (г), *миллиграмм* (мг):

$$1 \text{ т} = 1000 \text{ кг};$$

$$1 \text{ г} = 0,001 \text{ кг};$$

$$1 \text{ ц} = 100 \text{ кг};$$

$$1 \text{ мг} = 0,000001 \text{ кг}.$$

**СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАССЫ.** Для определения массы существуют различные способы. Способ определения массы тела по изменению его скорости при взаимодействии применяется редко. Самый распространённый и самый древний способ определения массы — это взвешивание на весах.

### ЭТО ИНТЕРЕСНО



В Египте на пирамиде в Гизе высечено изображение равноплечих весов. Эта пирамида была построена при династии Хеопса, т. е. между 2930—2750 г. до н. э. При археологических раскопках удалось найти гири древних египтян. Самая маленькая из них весит несколько граммов.

В Древней Руси товары взвешивали на равноплечих весах, или, как тогда говорили,

скалвах. Однако наши предки пользовались и неравноплечими весами римской конструкции, которые поначалу назывались «пуд».

### Выводы

- ! Действие тел друг на друга называется взаимодействием.
- ! Инертностью называется свойство тела сохранять состояние покоя или свою скорость, если тело двигалось.
- ! Масса является мерой инертности тел.

### Ключевые слова

Взаимодействие тел; инертность; масса

### и вопросы задания

1. В каком случае тело называют более инертным, а в каком — менее инертным?
2. Какие способы определения массы вы знаете?
3. Какова единица массы в СИ?
4. Чем объяснить наличие отдачи при стрельбе из ружья?
5. Спортсмен, прыгая в высоту, отталкивается от поверхности Земли. Почему в результате взаимодействия Земля не двигается?



- **Взвешивание**, определение **массы** и **объёма** продуктов при приготовлении пищи.



# ПЛОТНОСТЬ И МАССА § 28

## НОВОЕ В УРОКЕ

- Что такое плотность вещества.
- Как определить плотность вещества, зная его массу и объём.
- Какова единица плотности в СИ.

## ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое масса тела?
- Как найти объём тела, имеющего форму куба?

В окружающем нас мире встречаются тела, имеющие массы от очень маленьких до огромных. От чего же зависит масса тела? Наш жизненный опыт подсказывает, что шарик, сделанный из ваты, легче, чем шарик того же размера из металла. Почему?

**ЭКСПЕРИМЕНТ ПО СРАВНЕНИЮ МАСС ТЕЛ.** При помощи весов сравним массы двух цилиндров из железа, имеющих разные объёмы. Опыт показывает, что масса большого цилиндра больше массы маленького цилиндра. Следовательно, **масса тела зависит от его объёма.**

Теперь сравним массы двух цилиндров, имеющих равные объёмы, но изготовленных из разных материалов (например, из железа и алюминия). Опыт показывает, что масса цилиндра из железа больше массы цилиндра из алюминия. Следовательно, **масса тела зависит от вещества, из которого оно состоит.**

Из опыта следует, что тела с равными массами, но изготовленные из разных веществ, имеют разные объёмы. Например, кусок льда массой 100 г имеет объём  $111 \text{ см}^3$ , а золото той же массы — всего  $5 \text{ см}^3$ .

Результаты поставленных экспериментов объясняются тем, что разные вещества имеют разную *плотность*.

**ПЛОТНОСТЬ.** Величина, которая показывает, чему равна масса вещества в единице объёма (например, в  $1 \text{ м}^3$  или в  $1 \text{ см}^3$ ), называется *плотностью*. Например,  $1 \text{ м}^3$  воды имеет массу 1000 кг,  $1 \text{ м}^3$  железа — 7800 кг, а  $1 \text{ м}^3$  воздуха — 1,29 кг.

Как найти плотность вещества? Пусть известно, что сосновый брусок объёмом  $2 \text{ м}^3$  имеет массу 800 кг. Тогда брусок объёмом  $1 \text{ м}^3$  будет иметь массу в 2 раза меньшую, т. е. 400 кг. Таким образом, плотность сосны равна 400 кг на  $1 \text{ м}^3$ .



Масса  $m = 100 \text{ г}$

Лёд  
Объём  $V = 111 \text{ см}^3$



Железо  
Объём  $V = 13 \text{ см}^3$



Золото  
Объём  $V = 5 \text{ см}^3$



Если известны масса тела и его объём, можно определить плотность.



Вода  
1000 кг на  $1 \text{ м}^3$



Железо  
7800 кг на  $1 \text{ м}^3$



Воздух  
1,29 кг на  $1 \text{ м}^3$

Плотность — это физическая величина, равная отношению массы тела к его объёму:

$$\text{плотность} = \frac{\text{масса}}{\text{объём}}.$$

Плотность принято обозначать греческой буквой  $\rho$  (читается «ро»).

#### ВАЖНО

Если обозначить величины: плотность —  $\rho$ , масса —  $m$  и объём —  $V$ , то плотность рассчитывают по формуле

$$\rho = \frac{m}{V}.$$

Зная массу тела и плотность вещества, из которого это тело состоит, можно вычислить его объём по формуле

$$V = \frac{m}{\rho}.$$

Если же нам известны плотность и объём, можно найти массу тела:

$$m = \rho V.$$

Так как все вещества состоят из атомов и молекул, то масса любого тела должна зависеть от массы атомов и молекул и от того, насколько плотно «упакованы» атомы и молекулы в веществе.

Плотность вещества можно определить, умножив массу одной молекулы на их количество, содержащееся в  $1 \text{ м}^3$ . Современные приборы позволяют достаточно точно определить массу одной молекулы. Используя это значение, а также зная массу единицы объёма вещества, можно определить количество молекул в единице объёма. Таким способом определено, что в  $1 \text{ м}^3$  чистой воды содержится примерно  $3,3 \cdot 10^{28}$  молекул.

**ЕДИНИЦЫ ПЛОТНОСТИ.** В Международной системе единиц (СИ) за единицу плотности принимают килограмм на кубический метр ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ).

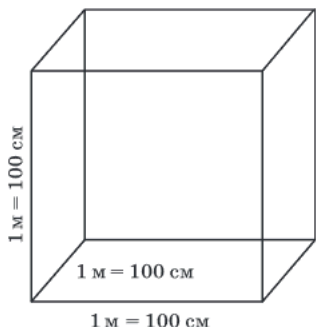
Если известно, что в  $1 \text{ см}^3$  содержится 1,35 г мёда, то как посчитать, сколько мёда содержится в кубическом метре?

Кубический метр — это  $100 \text{ см} \times 100 \text{ см} \times 100 \text{ см}$ , т. е.  $1 \text{ м}^3 = 1\,000\,000 \text{ см}^3$ .

Следовательно, масса  $1 \text{ м}^3$  мёда:

$$1,35 \text{ г} \cdot 1\,000\,000 = 1\,350\,000 \text{ г} = 1350 \text{ кг}.$$

Таким образом, плотность мёда равна  $1350 \text{ кг}/\text{м}^3$ .



На практике также используют единицу *грамм на кубический сантиметр* ( $\text{г/см}^3$ ):

$$\frac{1 \text{ г}}{1 \text{ см}^3} = \frac{0,001 \text{ кг}}{0,000001 \text{ м}^3} = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

### ПЛОТНОСТИ ВЕЩЕСТВА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ АГРЕГАТНЫХ СОСТОЯНИЯХ.

Плотность одного и того же вещества в твёрдом, жидком и газообразном состояниях различна.

Молекулы вещества находятся на разных расстояниях друг от друга в различных агрегатных состояниях. Их количество в единице объёма сильно различается, следовательно, будет различаться и плотность. Это объясняет, например, почему плотность вещества в жидком состоянии превышает его плотность в газообразном состоянии.



**Лёд** (при  $0^\circ\text{C}$ )  
Плотность  $900 \text{ кг/м}^3$

**Вода** (при  $4^\circ\text{C}$ )  
Плотность  $1000 \text{ кг/м}^3$

**Водяной пар** (при  $100^\circ\text{C}$ )  
Плотность  $0,59 \text{ кг/м}^3$

Плотность вещества зависит также от того, каким образом упорядочены его молекулы. Например, плотность льда составляет  $900 \text{ кг/м}^3$ , плотность воды —  $1000 \text{ кг/м}^3$ .

Плотность вещества также зависит и от внешних условий, в частности от температуры. Например, плотность водяного пара при  $100^\circ\text{C}$  составляет  $0,59 \text{ кг/м}^3$ .

**ИЗМЕРЕНИЕ ПЛОТНОСТИ.** Для измерения плотности жидкости существует специальный измерительный прибор, который называется *ареометром*. Простейший поплавковый ареометр состоит из полого стеклянного корпуса, на дне которого находится балласт. В верхней части корпус переходит в стержень, на котором нанесена шкала для определения плотности. Принцип действия ареометра основан на законе Архимеда, который будет изучен позднее. Ареометр погружают в жидкость, плотность которой необходимо измерить. В зависимости от плотности жидкости ареометр погружается в жидкость на разную глубину. Значение плотности определяется по шкале ареометра.



### ФИЗИКА В ЖИЗНИ

Ареометры получили широкое применение в быту. В зависимости от области применения они имеют разные названия. Например, сахарометр применяется для определения количества сахара в растворе, солеметр — для определения солёности раствора, лактометр — для определения жирности молока и др.

**ПЛОТНОСТЬ СМЕСЕЙ И СПЛАВОВ.** *Смесь* включает в себя два или более различных веществ. *Сплав* — это материал, который получается при плавлении смеси двух и более металлов. Как найти плотность смесей и сплавов?

Допустим, смешали два вещества, имеющие массы  $m_1$  и  $m_2$  и объёмы  $V_1$  и  $V_2$ . Тогда плотность смеси определяется как

$$\rho_{\text{см}} = \frac{M}{V},$$

где  $M = m_1 + m_2$  — общая масса смеси;  $V = V_1 + V_2$  — общий объём смеси.

В общем случае для  $n$  веществ плотность смеси равна

$$\rho_{\text{см}} = \frac{M}{V} = \frac{m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_n}{V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n}.$$

Если в состав смеси или сплава входят вещества в равных пропорциях, т. е. их объёмы равны ( $V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V_n$ ), то плотность смеси равна

$$\rho_{\text{см}} = \frac{\rho_1 + \rho_2 + \rho_3 + \dots + \rho_n}{n}.$$

**ПОВЕРХНОСТНАЯ И ЛИНЕЙНАЯ ПЛОТНОСТЬ.** Плотность тела можно определить, измерив его массу и объём и поделив одну величину на другую:  $\rho = \frac{m}{V}$ . Эту формулу применяют для объёмных тел.

Для материалов в виде тонких плоских листов, например фанеры, листа бумаги или полотна ткани, вводится понятие *поверхностной плотности*. Поверхностная плотность двумерного тела — это физическая величина, равная отношению массы  $m$  тела к площади  $S$  его поверхности:

$$\rho_{\text{пов}} = \frac{m}{S}.$$

Единицей поверхностной плотности является  $\text{кг}/\text{м}^2$  или  $\text{г}/\text{м}^2$ . Например, стандартная бумага имеет плотность  $80 \text{ г}/\text{м}^2$ , газетная бумага — около  $40 \text{ г}/\text{м}^2$ .

Ещё одной характеристикой вытянутых тел является *линейная плотность*. Линейная плотность — это физическая величина, равная отношению массы  $m$  тела к его длине  $l$ :

$$\rho_{\text{лин}} = \frac{m}{l}.$$

Понятие линейной плотности часто применяется по отношению к протяжённым объектам, таким как тонкие стержни, нити, верёвки и т. д.

Единицей линейной плотности является  $\text{кг}/\text{м}$  или  $\text{г}/\text{м}$ .

#### ВЫВОДЫ

- ! Плотность показывает, чему равна масса вещества в единице объёма.
- ! Плотность вещества зависит от его агрегатного состояния и от внешних условий.

#### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Плотность вещества; единицы плотности; масса; объём

#### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Что такое плотность?
2. Как можно найти плотность вещества, зная его объём и массу?
3. Какова единица плотности в СИ?
4. Что тяжелее: ящик с мелкой дробью или такой же ящик с крупной дробью? Ответ обоснуйте.
5. При нагревании тела расширяются. Изменяются ли при этом масса тела, объём и плотность?

# РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ § 29

- **ЗАДАЧА 1.** Мальчик из покоящейся лодки прыгает на берег. Масса мальчика 40 кг. Определите массу лодки, если она стала двигаться со скоростью, равной  $\frac{1}{8}$  скорости мальчика.

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:

$$m_m = 40 \text{ кг}$$

$$\frac{v_l}{v_m} = \frac{1}{8}$$

$m_l$  — ?

Решение.

Если до взаимодействия тел их скорости были равны нулю, то можно использовать равенство отношений:

$$\frac{m_m}{m_l} = \frac{v_l}{v_m}$$

Следовательно,  $m_l = m_m \frac{v_m}{v_l}$ ;

$$m_l = 40 \text{ кг} \cdot 8 = 320 \text{ кг}.$$



Ответ: 320 кг.

- **ЗАДАЧА 2.** Бензобак автомобиля вмещает в себя 55 л бензина. Определите массу бензина в бензобаке, если плотность бензина  $710 \text{ кг/м}^3$ .

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:

$$V = 55 \text{ л}$$

$$\rho = 710 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$m$  — ?

Решение.

Выразим объём бензина в метрах кубических ( $\text{м}^3$ ):

$$1 \text{ л} = 1 \text{ дм}^3 = 0,001 \text{ м}^3; \quad 55 \text{ л} = 0,055 \text{ м}^3.$$

$$m = \rho V; \quad m = 710 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 0,055 \text{ м}^3 = 39,05 \text{ кг}.$$

Ответ: 39,05 кг.

- **ЗАДАЧА 3.** Медная деталь имеет внутри полость. Чему равен объём полости, если объём детали  $39 \text{ см}^3$ , масса детали 258 г, плотность меди  $8900 \text{ кг/м}^3$ ?

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:

$$V = 39 \text{ см}^3$$

$$m = 258 \text{ г}$$

$$\rho = 8900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$V_{\text{п}}$  — ?

СИ

$$0,000039 \text{ м}^3$$

$$0,258 \text{ кг}$$

Решение.

Объём полости можно найти, если вычесть из объёма детали объём меди:  $V_{\text{п}} = V - V_m$ .

Объём меди находим, разделив массу детали на плотность меди:  $V_m = \frac{m}{\rho}$ .

Таким образом:  $V_{\text{п}} = V - \frac{m}{\rho}$ ;

$$V_{\text{п}} = 0,000039 \text{ м}^3 - \frac{0,258 \text{ кг}}{8900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} \approx 0,000010 \text{ м}^3.$$

Ответ:  $10 \text{ см}^3$ .

- **ЗАДАЧА 4.** Серную кислоту смешали с водой в отношении 2 : 5, в результате объём смеси получился равным 3 л. Считая, что объём смеси жидкостей равен сумме их объёмов, определите плотность смеси. Плотность серной кислоты —  $1800 \text{ кг/м}^3$ , плотность воды —  $1000 \text{ кг/м}^3$ .

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:

$$V = 3 \text{ л}$$

$$\frac{V_c}{V_b} = \frac{2}{5}$$

$$\rho_c = 1800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\rho_b = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$\rho$  — ?

Решение.

Определим начальный объём каждой из жидкостей. Так как жидкости смешали в отношении 2 : 5, то из 7 частей жидкости 2 части — это серная кислота и 5 частей — это вода.

$$\text{Тогда } V_c = \frac{2}{7}V; \quad V_b = \frac{5}{7}V.$$

Теперь найдём начальную массу каждой из жидкостей:

$$m_c = \rho_c V_c = \frac{2}{7}\rho_c V; \quad m_b = \rho_b V_b = \frac{5}{7}\rho_b V.$$

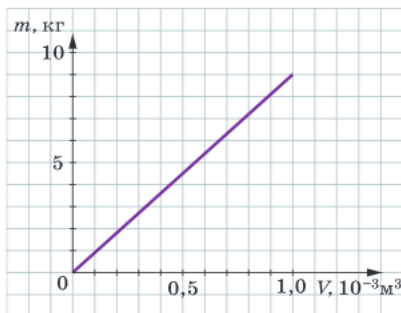
Плотность смеси найдём, разделив массу смеси на объём

$$\text{смеси: } \rho = \frac{m_c + m_b}{V} = \frac{\frac{2}{7}\rho_c V + \frac{5}{7}\rho_b V}{V} = \frac{2}{7}\rho_c + \frac{5}{7}\rho_b;$$

$$\rho = \frac{2}{7} \cdot 1800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} + \frac{5}{7} \cdot 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \approx 1229 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Ответ:  $1229 \text{ кг/м}^3$ .

- **ЗАДАЧА 5.** На рисунке изображён график зависимости массы  $m$  тела от его объёма  $V$ . Чему равна плотность данного тела? Какую массу будет иметь тело объёмом  $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ ? Изменится ли при этом плотность тела?



Решение.

По графику определим, что тело объёмом  $1,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$  имеет массу 9 кг.

Найдём плотность тела:  $\rho = \frac{m}{V}$ ;  $\rho = \frac{9 \text{ кг}}{10^{-3} \text{ м}^3} = 9000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .

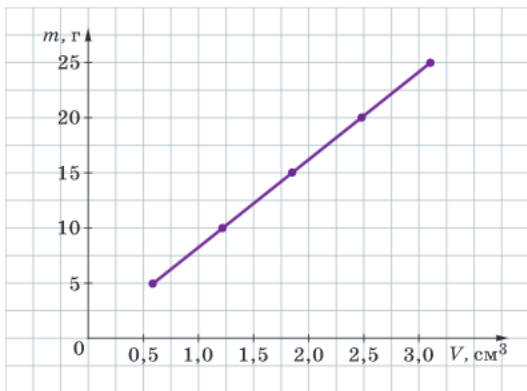
Определим массу тела объёмом  $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ :

$$m = \rho V; \quad m = 9000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 = 13,5 \text{ кг}.$$

При этом для данного вещества плотность постоянна и не изменяется при изменении массы или объёма тела.

### Задачи для самостоятельного решения

- 1 Находясь в неподвижной лодке, рыбак отталкивает находящееся рядом с лодкой плавающее бревно. Во сколько раз масса лодки больше массы бревна, если после взаимодействия скорости их движения соответственно равны 0,5 и 2,5 м/с?
- 2 Что имеет бóльшую массу: 3 см<sup>3</sup> золота или 5 см<sup>3</sup> серебра? Плотность золота 19 300 кг/м<sup>3</sup>, плотность серебра 10 500 кг/м<sup>3</sup>.
- 3 Твёрдое тело в форме параллелепипеда имеет размеры 50 × 20 × 40 см<sup>3</sup> и массу 108 кг. Вычислите плотность тела и предположите, из какого вещества оно изготовлено.
- 4 В мензурку с водой объёмом 65 мл опустили камень массой 17,5 г. Уровень воды в мензурке повысился и стал равным 72 мл. Чему равна плотность камня?
- 5 В состав сплава входят 100 г латуни и 100 см<sup>3</sup> алюминия. Определите плотность этого сплава, если плотность латуни 8500 кг/м<sup>3</sup>, плотность алюминия 2700 кг/м<sup>3</sup>.
- 6 Блок пенопласта имеет размеры 100 × 60 × 40 см<sup>3</sup>, его масса 1,8 кг. Есть ли в блоке полость? Если есть, вычислите её объём. Плотность пенопласта 15 кг/м<sup>3</sup>.
- 7 По графику зависимости массы тела от его объёма определите плотность данного тела. Какой объём будет иметь тело массой 100 г?



# § 30 ЛАБОРАТОРНЫЕ И ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ

## Лабораторная работа № 4

### Измерение массы тела на рычажных весах

#### Цель работы

Научиться пользоваться рычажными весами и с их помощью определять массу тела.

#### Оборудование и материалы

Весы рычажные, набор гирь, тела для измерения.

#### Ход работы

- Перед началом работы убедитесь, что весы уравновешены. При необходимости для установления равновесия на более лёгкую чашу положите полоски бумаги, картона и т. п.
- Придерживаясь правил взвешивания, описанных ниже, измерьте массы предложенных тел.

#### Правила взвешивания

1. Взвешиваемое тело кладут на левую чашку весов, а разновесы — на правую.
2. Во избежание порчи весов взвешиваемое тело и разновесы нужно опускать на чаши осторожно, не роняя их даже с небольшой высоты.
3. Нельзя взвешивать тела, масса которых превышает указанную в паспорте прибора.
4. Взвешивание на весах можно считать законченным, когда разновес в 0,01 г оказывается недостаточным, а в 0,02 г — избыточным.
5. По окончании взвешивания подсчитывают суммарную массу разновесов и полученное значение записывают в тетрадь. Разновесы в определённом порядке укладывают в соответствующие гнезда ящика.

- Результаты измерений занесите в таблицу в своей тетради.

Название тела	Масса тела, г

- Сделайте вывод.

**Лабораторная работа № 5**

**Определение плотности твёрдого тела с помощью весов и измерительного цилиндра**

**Цель работы**

Научиться определять плотность твёрдого тела с помощью весов и измерительного цилиндра.

**Оборудование и материалы**

Весы рычажные, набор гирь, измерительный цилиндр (мензурка), вода, нитка; твёрдые тела, изготовленные из различных материалов, плотность которых надо определить.

**Ход работы**

- Придерживаясь правил взвешивания (см. с. 108), измерьте массу исследуемого тела.
- Измерьте объём тела с помощью измерительного цилиндра.
- По формуле  $\rho = \frac{m}{V}$  рассчитайте плотность данного тела. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу в своей тетради.
- Проведите необходимые процедуры по определению плотности других имеющихся тел.

Исследуемое тело	Масса тела $m$ , г	Объём тела $V$ , см <sup>3</sup>	Плотность тела $\rho$ , г/см <sup>3</sup>

**Дополнительное задание**

Для выполнения задания вам потребуется тело правильной формы.

Вещество, из которого оно состоит, должно быть известно.

- С помощью весов измерьте массу тела правильной формы.
- Линейкой измерьте необходимые линейные размеры тела. Рассчитайте его объём по известной геометрической формуле.
- Измерьте объём тела с помощью измерительного цилиндра.
- По формуле  $\rho = \frac{m}{V}$  рассчитайте плотность тела, используя данные разных измерений объёма. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу.

Метод определения плотности	Масса тела $m$ , г	Объём тела $V$ , см <sup>3</sup>	Плотность тела $\rho$ , г/см <sup>3</sup>
При помощи весов и линейки			
При помощи весов и мерного цилиндра			
Табличное значение плотности			

- Сделайте вывод о том, какой из методов определения плотности дал более точный результат.

## Практические работы-исследования

### Изучаем механическое движение

При решении различных практических задач часто требуется оценить значение той или иной физической величины, характеризующей движение. Сколько времени в среднем занимает путь от дома до школы, если идти с привычной скоростью? А если бежать? Какова средняя длина вашего шага? Насколько ваш шаг отличается от длины шага одноклассников? Можно ли, зная длину шага, корректно оценить расстояние от дома до ближайшей остановки автобуса?

**ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ МЕХАНИЧЕСКОЕ ДВИЖЕНИЕ.** Зная длину своего шага, можно оценить пройденное расстояние. А умение оценивать свою скорость движения важно учитывать, чтобы вовремя успеть в школу, в кино или на поезд.

#### Цель работы

Научиться оценивать длину одного шага, скорость движения человека, среднюю скорость, характерную для участников движения, сравнивать скорости различных участников движения.

#### ПОМОЩНИК

- В качестве оборудования можно использовать рулетку, часы и мел. Проводить исследование можно на улице, школьном стадионе и т. д.
- Мелом отметьте место, с которого вы начинаете движение. Пройдите 5—10 шагов. С помощью рулетки измерьте расстояние, которое вы прошли. Вычислите среднюю длину шага, разделив это расстояние на количество шагов.
- Посчитайте, сколько шагов занимает расстояние от дома до школы (от дома до магазина, от дома до автобусной остановки). Оцените это расстояние, умножив количество шагов на длину одного шага.
- Измерьте время, за которое вы прошли измеренное расстояние, двигаясь с привычной для вас скоростью.
- Вычислите скорость своего движения от дома до школы, считая движение равномерным.
- Сравните свою скорость с общеизвестным значением средней скорости движения человека ( $\approx 5$  км/ч).
- Повторите измерения количества шагов и времени несколько раз. Вычислите расстояния и скорости движения в каждом случае. Определите средние значения скорости движения.
- Объедините в общей таблице полученные средние значения длины одного шага и средней скорости для всех учеников вашего класса.
- Сравните скорость движения учеников вашего класса с общеизвестным значением средней скорости движения человека. Сколько человек имеет скорость, большую средней скорости движения человека? Сколько человек имеет скорость, меньшую средней скорости движения человека?
- Вычислите средние значения длины одного шага и среднюю скорость для учеников вашего класса.
- Кто из ваших одноклассников имеет: самую большую длину шага; самую маленькую? Сколько человек имеет длину шага: больше средней; меньше средней?

- Кто из ваших одноклассников ходит: быстрее всех; медленнее всех? Сколько человек ходит со скоростью: больше средней; меньше средней? Подумайте, влияет ли длина шага на среднюю скорость человека.
- Сделайте выводы.

**ИЗУЧЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ ТЕЛА ПРИ ЕГО ПАДЕНИИ С НЕКОТОРОЙ ВЫСОТЫ.** Законы, описывающие движение тел, являются предметом изучения в старших классах школы. Вместе с тем некоторые закономерности движения можно получить опытным путём на основе анализа падения тела.

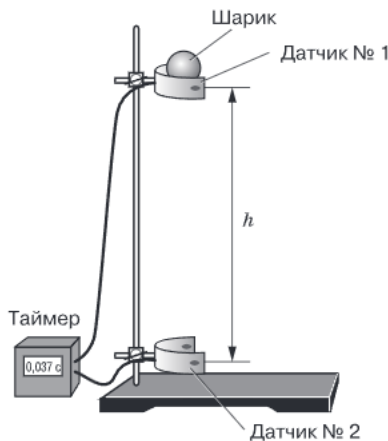
**Цель работы**

Установить зависимость времени падения тела от его начальной высоты, установить зависимость скорости падения тела от высоты, с которой тело было отпущено. Поскольку в условиях школьного эксперимента эта высота, как правило, порядка 1—1,5 м, то для измерения времени падения тела необходимо использовать достаточно точные приборы.

**Упражнение 1. Зависимость времени падения тела от его начальной высоты**

**ПОМОЩНИК**

- В качестве оборудования можно использовать штатив, электронный таймер, снабжённый двумя оптоэлектрическими датчиками, позволяющий измерять временные интервалы длительностью несколько миллисекунд, мерную ленту (рулетку), шарик, миллиметровую бумагу.
- Укрепите на штативе оптический датчик запуска таймера на высоте  $h \approx 0,5—0,6$  м. Оптический датчик остановки таймера, фиксирующий момент падения шарика, укрепите непосредственно у поверхности стола. В момент отпущения шарик пересекает световой луч первого датчика и запускает таймер. В момент падения шарик пересекает световой луч второго датчика и таймер отключается.
- Постепенно уменьшая высоту положения оптического датчика запуска таймера, проделайте опыт для 5—6 разных значений высоты  $h$ .
- Результаты измерений занесите в таблицу в своей тетради.



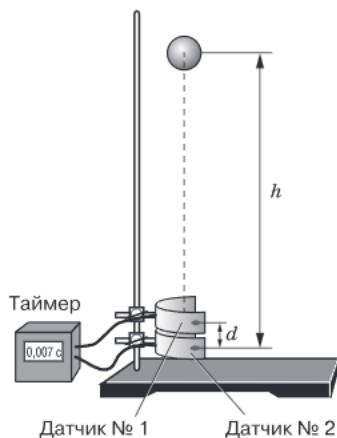
$h$ , м	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
$t$ , с						

- На миллиметровой бумаге постройте график зависимости квадрата времени падения шарика от высоты, с которой он был отпущен:  $t^2 = f(h)$ .
- Сделайте выводы.

### Упражнение 2. Зависимость скорости падения тела от его начальной высоты

#### ПОМОЩНИК

- У поверхности стола укрепите на штативе оптические датчики № 1 и № 2, расположив их непосредственно один над другим.
- Измерьте расстояние  $d$  между датчиками.
- С заданной высоты  $h$  осторожно отпустите шарик и зафиксируйте с помощью таймера время  $t$  его пролёта между датчиками.
- По формуле  $v = \frac{d}{t}$  вычислите скорость шарика в момент его пролёта между датчиками.
- Постепенно уменьшая высоту, с которой отпускается шарик, проделайте аналогичные опыты для 5–6 разных значений высоты  $h$ .
- Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу в своей тетради.



$d = \text{_____} \text{ см}$						
$h, \text{ м}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
$t, \text{ с}$						
$v, \text{ м/с}$						

- На миллиметровой бумаге постройте график зависимости квадрата скорости шарика от высоты  $h$ :  $v^2 = f(h)$ .
- Сделайте выводы.

*Примечание.* При проведении измерений рекомендуется использовать шарик из пластилина диаметром 1,5–2 см. Оптико-электрические датчики должны быть установлены строго по вертикали (например, с помощью отвеса).

## Практическая работа-исследование

### Измерение малых масс методом взвешивания

#### Упражнение. Измерение массы

Измерять массу малых тел можно с помощью не только электронных весов с высокой точностью измерения, но и лабораторных рычажных весов.

#### Цель работы

Определить массы малых тел методом взвешивания на рычажных весах.

#### ПОМОЩНИК

- В качестве оборудования можно использовать пинцет, пакетики с маком, просом, чечевицей, лабораторные весы с набором разновесов, тетрадный лист в клетку, линейку, ножницы.

- С помощью весов определите массу тетрадного листа (или нескольких листов, если нет необходимых разновесов).
- С помощью линейки определите размеры и вычислите площадь тетрадного листа. Разделив площадь листа на площадь одной клетки ( $0,25 \text{ см}^2$ ), найдите число клеток на листе.
- Разделив массу листа на число клеток, вычислите массу кусочка бумаги размером в одну клетку. Далее это значение можно использовать в качестве разновеса.
- С помощью пинцета отсчитайте несколько десятков зёрен мака и найдите их массу, используя «тетрадные» разновесы. Разделив полученное значение на количество зёрен, определите массу одного зёрнышка мака.
- Прodelайте аналогичные измерения для других зёрен.
- Сделайте выводы.

### В ПОМОЩЬ БУДУЩИМ ПАРАШЮТИСТАМ

Ученики 7 класса Петя и Саша договорились, что когда они окончат школу, то запишутся в секцию парашютного спорта. Для того чтобы получить хотя бы начальные сведения о характере движения парашюта, ребята решили с помощью модели парашюта изучить влияние площади  $S$  его купола на среднюю скорость  $v_{\text{ср}}$  движения.

КЕЙС

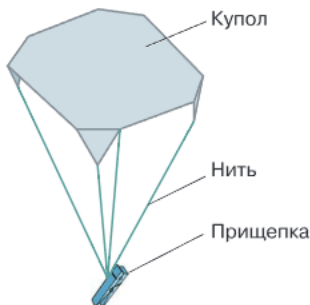
Прodelайте и вы опыты, которые решили осуществить Петя и Саша.

**ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА.** Первые эскизы парашюта пирамидального типа нарисовал ещё Леонардо да Винчи в 1483 г. Последующее развитие воздухоплавания всё более способствовало дальнейшему совершенствованию конструкции парашютов.

Первый компактный ранцевый парашют сконструировал в 1911 г. русский военный Е. Котельников. В 1912 г. Котельников получил патент на своё изобретение.

#### ПОМОЩНИК

- В качестве оборудования вам потребуются картон, нитки, ножницы, скотч, рулетка, электронный секундомер, бельевая прищепка.
- Изготовьте самую простую модель парашюта — парашют с плоским квадратным куполом из картона. К загнутым уголкам купола с помощью скотча прикрепите 4 нити одинаковой длины. В качестве грузика используйте обычную бельевую прищепку.
- Отпускать парашют следует с высоты  $h \approx 2\text{—}2,5 \text{ м}$ . Этой высоты достаточно, чтобы надёжно измерить время его движения с помощью секундомера.
- Опыт прodelайте с 5—6 моделями парашюта, постепенно увеличивая площадь его купола.



- Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу в своей тетради.

Номер опыта	$h$ , м	$S$ , м <sup>2</sup>	$t$ , с	$v_{\text{ср}}$ , м/с
1		0,01		
2		0,02		
3		0,04		
4		0,06		
5		0,09		
6		0,12		

- Постройте график зависимости средней скорости движения парашюта от площади его купола.
- Сделайте выводы.

## ПОДВЕДЁМ ИТОГИ

Самостоятельно сформулируйте основные выводы, которые можно сделать, изучив материал главы «Движение, взаимодействие, масса».

### Вопросы для обсуждения


- ❓ Известно, что тело за каждую последующую секунду проходит одинаковые пути. Можно ли на основании этого утверждать, что тело движется равномерно?
- ❓ Почему при прополке сорняков их не следует выдёргивать из земли рывком?
- ❓ Что тяжелее: 1 л морской воды или 1 л озёрной воды, взятой при той же температуре?

### Темы исследовательских и проектных работ

- Относительность движения.
- Как путешественники в древности измеряли скорость и путь.
- Современные приборы для измерения скорости.
- Как достичь скорости света.
- Инерция в жизни и в технике.
- Причины изменения скорости. История открытия.
- Инструменты для измерения массы. От древности до наших дней.
- Может ли изменяться масса тела.
- История килограмма.
- Можно ли определить массу звезды.
- Плотность вещества в различных агрегатных состояниях.

# Глава 4

## СИЛЫ ВОКРУГ НАС



Вся трудность физики, по-видимому, состоит в том, чтобы по явлениям движения распознать силы природы, а затем по этим силам объяснить остальные явления.

*И. Ньютон*

# § 31 СИЛА

## НОВОЕ В УРОКЕ

- Что такое сила.
- Каковы единицы силы.

### ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое взаимодействие тел?
- Что является причиной изменения скорости тела?
- В каком случае тело движется равномерно, а в каком — неравномерно?

Слово «сила» вам хорошо знакомо, и употребляем мы его достаточно часто. При этом всем нам понятно, что означают словосочетания «силы природы», «сила ветра», «сила мышц» или «сильный характер».

**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТЕЛ И ПОНЯТИЕ СИЛЫ.** В физике также существует термин «сила», который означает определённую физическую величину. Из предыдущих уроков вы уже знаете, что причиной изменения скорости тела является взаимодействие его с другими телами. Покоящийся мяч при ударе по нему ногой начинает движение с некоторой скоростью. Это пример действия силы при непосредственном взаимодействии.

Но есть также силы, которые действуют на расстоянии. Так, в результате взаимодействия с магнитом изменяется скорость плавающей пробки с лежащей на ней железной гирькой.



Эти примеры показывают, что любое взаимодействие характеризуется наличием как минимум двух тел. Когда одно тело действует на другое, то говорят, что *на тело действует сила или что к телу приложена сила.*

Силу обозначают латинской буквой  $\vec{F}$ .

Если нам неважно, что привело в движение мяч, а важно, что при воздействии силы мяч приобрёл скорость, то в данном случае мы говорим, что **сила — это причина изменения скорости движения тела.**

Сила, действующая на тело, может изменить не только скорость всего тела, но и взаимное расположение отдельных его частей. Например, под действием силы происходят сжатие пружины, изгиб упругого стального стержня и другие изменения формы и размеров тел. В этих случаях говорят, что тело *деформируется*.

Деформацией называют любое изменение формы и размеров тела.

### ЭТО ИНТЕРЕСНО

Впервые понятие силы конкретизировал Г. Галилей.

Он понимал, что всякое тело, не взаимодействующее с другими телами, должно находиться в состоянии покоя либо двигаться равномерно и прямолинейно. Поэтому сила является той причиной, которая вызывает изменение скорости тела.

**ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА — СИЛА.** В зависимости от силы удара мяч приобретает разную скорость. В зависимости от силы удара молотком гвоздь входит в доску на разную глубину. Значит, силу можно измерить, а её значение выразить численно. **Результат действия силы зависит от её значения.** Таким образом, сила характеризует взаимодействие тел.

**ВАЖНО**

**Сила** — физическая величина, характеризующая взаимодействие тел.

**ЭТО ИНТЕРЕСНО**

Великий физик XX в. Альберт Эйнштейн в своей работе «Эволюция физики» писал: «Что такое сила? Интуитивно мы чувствуем, что именно обозначается этим термином. Это понятие возникает из усилия, которое мы производим при толчке, броске или тяге, из того мускульного ощущения, которое сопровождает все эти действия. Но обобщение этих понятий выходит далеко за пределы столь простых примеров. Мы можем думать о силе, даже не воображая себе лошадь, тянущую повозку».

**СИЛА — ВЕКТОРНАЯ ВЕЛИЧИНА.** Сила, как и скорость, является векторной величиной. Это значит, что она характеризуется не только численным значением (модулем), но и направлением.

Предположим, человек пытается сдвинуть с места тележку. Рассмотрим два случая (см. рис.). В обоих случаях величина силы, действующей на тележку, одна и та же (по модулю). Но в первом и во втором случае направления сил противоположны. Поэтому и результат различен: направления движения тележки противоположны. Таким образом, **результат действия силы зависит от её направления.**

Силы можно изображать графически в виде стрелок. Длина этих стрелок должна соответствовать модулю силы: чем длиннее стрелка, тем больше значение силы.

**ТОЧКА ПРИЛОЖЕНИЯ СИЛЫ.** Когда говорят о силе, действующей на тело, важно указывать не только её направление и значение, но и точку её приложения.

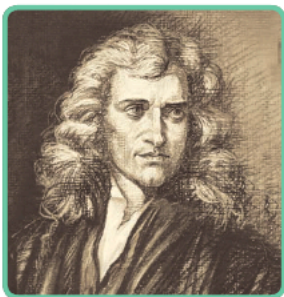


Если мы двигаем книгу по столу, прикладывая силу, то результат зависит от того, в какую точку книги мы надавим пальцем. Хотя и по значению, и по направлению силы одинаковы, характер движения тела различен. Это означает, что **результат действия силы на тело зависит от точки приложения силы.**



## ВАЖНО

Результат действия силы на тело зависит от её модуля, направления и точки приложения.



Исаак Ньютон  
(1642—1727)

**ЕДИНИЦЫ СИЛЫ.** Так как сила — это физическая величина, то её можно измерить, т. е. сравнить с силой, принятой за единицу.

За единицу силы принята сила, которая за время 1 с изменяет скорость тела массой 1 кг на 1 м/с. В честь великого английского учёного И. Ньютона эта единица называется *ньютон* (Н).

На практике также применяют кратные и дольные единицы: *килоньютоны* и *миллиньютонны*:

$$1 \text{ кН} = 1000 \text{ Н};$$

$$1 \text{ мН} = 0,001 \text{ Н}.$$

## ВЫВОДЫ

- ! Сила, действующая на тело, может не только изменить его скорость, но и деформировать его.
- ! Сила характеризует взаимодействие тел.
- ! Результат действия силы на тело зависит от её модуля, направления и точки приложения.

КЛЮЧЕВЫЕ  
СЛОВА

Сила; взаимодействие тел; деформация

ВОПРОСЫ  
И ЗАДАНИЯ

1. Что является причиной изменения скорости тела?
2. От чего зависит результат действия силы на тело?
3. Всегда ли взаимодействие тел происходит при их непосредственном контакте?
4. Качели представляют собой доску (сиденье), подвешенную на верёвках. На доску действуют с силами, одинаковыми по модулю и направлению: в первом случае сила приложена к центру передней грани доски; во втором случае — к правому краю грани доски. Будет ли различаться характер движения качелей в описанных случаях?

# СИЛА ТЯЖЕСТИ § 32

## НОВОЕ В УРОКЕ

Если мячик подбросить вверх, то через некоторое время он упадёт вниз. Капли дождя и снежинки падают на землю. То же самое происходит и с любыми другими телами. Подпрыгнув вверх, человек обязательно опустится на землю.

- Что такое всемирное тяготение.
- Что такое сила тяжести.
- Как рассчитать силу тяжести.

## ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое сила?
- Каковы единицы силы?

**СИЛА ТЯЖЕСТИ.** Для всех живущих на нашей планете существ особенно важное значение имеет сила притяжения тел к Земле.

## ВАЖНО

Силу, с которой Земля притягивает к себе тело, называют **силой тяжести**  $\vec{F}_T$ .

Сила тяжести всегда направлена вертикально вниз, к центру Земли по её радиусу.

Рассмотрим два тела, первое из которых имеет большую массу, чем второе. Мы говорим, что одно из них тяжелее, а другое легче. Почему? Дело в том, что **сила тяжести прямо пропорциональна массе тела**, т. е. во сколько раз масса одного тела больше массы другого, во столько раз сила тяжести, действующая на первое тело, превышает силу тяжести, действующую на второе тело.

Установлено, что вблизи поверхности Земли на тело массой 1 кг действует сила тяжести, равная 9,8 Н. На тело массой 2 кг действует сила 19,6 Н, и т. д. Таким образом, чтобы определить силу тяжести, действующую на тело, необходимо 9,8 Н/кг умножить на массу этого тела, выраженную в килограммах:

$$F_T = 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot m. \quad (1)$$

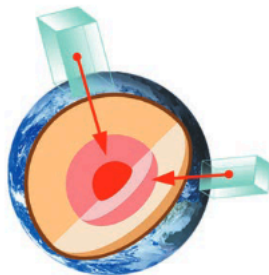
Считается, что сила тяжести приложена к телу, на которое она действует.

**СВОБОДНОЕ ПАДЕНИЕ.** На тело, падающее вниз в результате притяжения к Земле, кроме силы тяжести, действует сила сопротивления воздуха, а также возможно воздействие со стороны других тел.

Если при падении тела сила сопротивления воздуха много меньше силы тяжести и ею можно пренебречь, а также отсутствует воздействие со стороны других тел, то такое движение называют свободным падением.

## ЭТО ИНТЕРЕСНО

Открытие того, что все тела падают на поверхность Земли с одинаковым ускорением, принадлежит Г. Галилею. По легенде, учёный установил этот факт после опытов, в которых он сбрасывал лёгкие и тяжёлые предметы с наклонной башни.



Рассмотрим падение листа бумаги и камня с одинаковой высоты. Камень упадёт на землю быстрее, чем лист бумаги, и причина этого — сопротивление воздуха.

Для наблюдения свободного падения необходимо поставить эксперимент, в котором отсутствовало бы сопротивление воздуха.

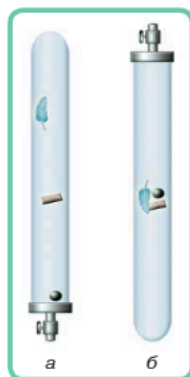
### ИССЛЕДОВАНИЕ

Для такого опыта используют стеклянную трубку, один конец которой запаян, а другой снабжён краном, через который из трубки можно откачать воздух.

Такую трубку называют **трубкой Ньютона**.

Не откачивая воздух, поместим в неё пёрышко, кусочек пробки и дробинку. Если трубку резко перевернуть, эти предметы будут падать по-разному и достигнут нижнего уровня в разные моменты времени (рис. а).

Теперь откачаем из трубки воздух. Если теперь её быстро перевернуть, все три предмета упадут на дно одновременно, так как все падающие вниз тела движутся с одинаковым ускорением (рис. б).



**УСКОРЕНИЕ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ.** Если тело падает вниз под действием силы тяжести, то за каждую секунду его скорость увеличивается на одно и то же значение независимо от его массы. Эту величину называют ускорением свободного падения и обозначают латинской буквой  $g$ .

Вблизи поверхности Земли ускорение свободного падения равно примерно  $9,8 \text{ м/с}^2$ , т. е. скорость тела за каждую секунду увеличивается на  $9,8 \text{ м/с}$ .

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ.** Ускорение свободного падения является тем коэффициентом пропорциональности ( $9,8 \text{ Н/кг}$ ), который связывает силу тяжести и массу тела в формуле (1). Таким образом, зная массу тела, можно определить силу тяжести, действующую на него:

$$F_T = mg. \quad (2)$$

Из формулы (2) следует, что

$$g = \frac{F_T}{m}. \quad (3)$$

Поэтому единицей ускорения свободного падения  $g$  может быть как  $\text{м/с}^2$ , так и  $\text{Н/кг}$ .

При решении задач, которые не требуют высокой точности, значение  $g$  можно округлять, считая  $g = 10 \text{ м/с}^2$ .

### ВАЖНО

Если обозначить величины: силу тяжести —  $F_T$ , массу —  $m$  и ускорение свободного падения —  $g$ , то **силу тяжести** рассчитывают по формуле

$$F_T = mg.$$



Значение ускорения свободного падения в данной местности может отличаться от его среднего общепринятого значения. Отличия в значениях ускорения свободного падения называют **гравитационными аномалиями**.

Они могут быть связаны с неоднородностью строения земной коры и её недр и свидетельствовать о месторождении полезных ископаемых. Метод нахождения залежей полезных ископаемых по точному измерению ускорения свободного падения называется *гравиметрической разведкой* и широко применяется для обследования плохо изученных районов.

Прибор для высокоточного измерения ускорения свободного падения и силы тяжести называется **гравиметр**.

#### ЭТО ИНТЕРЕСНО



Ускорение свободного падения зависит от географической широты местности, где проводятся измерения. Это связано с тем, что земной шар немного сплюснут у полюсов (экваториальный радиус Земли больше полярного на 21 км), а также с влиянием вращения Земли вокруг своей оси. Ускорение свободного падения меняется от значения  $g_{\text{п}} = 9,83 \text{ м/с}^2$  на полюсах до значения  $g_{\text{э}} = 9,78 \text{ м/с}^2$  на экваторе, причём на широте  $45^\circ$   $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ . Это означает, что сила тяжести, действующая на тела, на полюсе немного больше, чем на экваторе или на других широтах.

Ускорение свободного падения зависит также и от высоты над поверхностью Земли, на которой находится тело. С увеличением высоты над Землёй ускорение свободного падения постепенно уменьшается. Например, на высоте 297 км оно оказывается равным не  $9,8 \text{ м/с}^2$ , а  $9 \text{ м/с}^2$ . Сила тяжести по мере увеличения высоты над Землёй также уменьшается. Однако если высота над поверхностью Земли не превышает 10 км, то изменением силы тяжести с высотой можно пренебречь, считая её равной значению силы тяжести на поверхности Земли.

**ЗАКОН ВСЕМИРНОГО ТЯГОТЕНИЯ.** Английский учёный И. Ньютон сделал величайшее открытие. Он впервые предположил, что притяжение различных тел к поверхности Земли, движение звёзд и планет подчиняется единому закону — **закону всемирного тяготения**.

Притяжение всех тел Вселенной друг к другу называется **всемирным тяготением**. Установлено, что силы притяжения между телами тем больше, чем больше массы этих тел. Известно также, что силы притяжения между телами уменьшаются, если увеличивается расстояние между ними.

#### ФИЗИКА В ЖИЗНИ

Если массы тел невелики, то невелика и сила их взаимного притяжения. Например, два человека, стоящие на расстоянии 2 м друг от друга, взаимно притягиваются с ничтожно малой силой. С такой же силой гирька массой  $0,00001 \text{ г}$  действует на чашу весов. Если же массы тел значительны, то и силы притяжения велики. Солнце притягивает планеты, образуя Солнечную систему. Так, между Солнцем и Землёй действует сила тяготения, равная примерно  $3 \cdot 10^{22} \text{ Н}$ . Земля притягивает Луну, удерживая её на своей орбите. Но и Луна тоже притягивает Землю. Приливы происходят из-за притяжения гидросферы Земли к Луне.

**СИЛА ТЯЖЕСТИ И УСКОРЕНИЕ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ НА РАЗНЫХ ПЛАНЕТАХ.** Говоря о силе тяжести, мы имели в виду силу, с которой Земля притягивает к себе тело. В общем случае под силой тяжести можно понимать силу, создаваемую тяготением массивного тела, и поэтому имеет смысл говорить о силе тяжести на других планетах и небесных телах. Масса тела не зависит от того, где оно находится. Но ускорение свободного падения зависит от массы и радиуса планеты или небесного тела. Например, на Луне ускорение свободного падения в 6 раз меньше, чем на Земле, и равно примерно  $1,6 \text{ м/с}^2$ . А на крупнейшей планете Солнечной системы — Юпитере ускорение свободного падения составляет примерно  $24,8 \text{ м/с}^2$ . Поэтому сила тяжести, действующая на одно и то же тело, на разных небесных телах принимает различные значения.

## Выводы

- ! Земля притягивает к себе все тела с силой, называемой силой тяжести.
- ! Всемирное тяготение — это притяжение всех тел Вселенной друг к другу.

## Ключевые слова

Сила тяжести; свободное падение; ускорение свободного падения; закон всемирного тяготения

## И вопросы задания

1. Что является причиной существования силы тяжести?
2. Как определить силу тяжести?
3. Почему стрела, выпущенная из лука горизонтально, не летит прямолинейно?
4. На какой из двух одинаковых по размеру брусков: железный или медный — действует бóльшая сила тяжести? Ответ обоснуйте.
5. Справедливо ли утверждение: «В Австралии тело падает на Землю в направлении, противоположном тому, в котором оно падает в Америке»? Как понимать это утверждение?
6. Как вы думаете, изменятся ли показания рычажных весов при взвешивании килограмма яблок: на экваторе; на полюсе?
7. Можно ли утверждать, что масса тела есть свойство самого тела, а сила тяжести зависит от действия других тел? Ответ обоснуйте.

# СИЛА УПРУГОСТИ § 33

## НОВОЕ В УРОКЕ

- Что такое сила упругости.
- Какие бывают виды деформации.

## ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

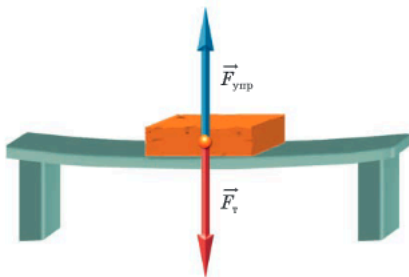
- Что такое сила?
- Каковы единицы силы?
- От чего зависит результат действия силы?

Под действием силы тяжести падают подброшенный мячик, снег, капли дождя и другие тела. Но действие силы тяжести не всегда приводит к движению тела. Например, на книгу, лежащую на столе, на человека, сидящего на стуле, на шарик, подвешенный на нити, действует сила тяжести. Однако эти тела не движутся и не падают на пол.

**СИЛА УПРУГОСТИ.** Почему же покоятся тела, подвешенные на нити или лежащие на опоре? На эти тела действует другая сила, которая по значению равна силе тяжести, но направлена в противоположную сторону и уравнивает её.

Если на деревянную доску положить тяжёлый кирпич (см. рисунок), то сначала под действием силы тяжести кирпич начнёт двигаться вниз, прогибая доску. Однако через короткое время движение прекратится. Доска прогнётся, или, другими словами, доска деформируется.

Кирпич не упал на землю, так как деформированная доска действует на него с силой, направленной вертикально вверх. Эта сила называется силой упругости. Сила упругости изображена стрелкой, приложенной к центру кирпича, хотя такое изображение является достаточно условным. В реальности сила упругости, действующая со стороны доски на кирпич, распределена по всей площади соприкосновения.



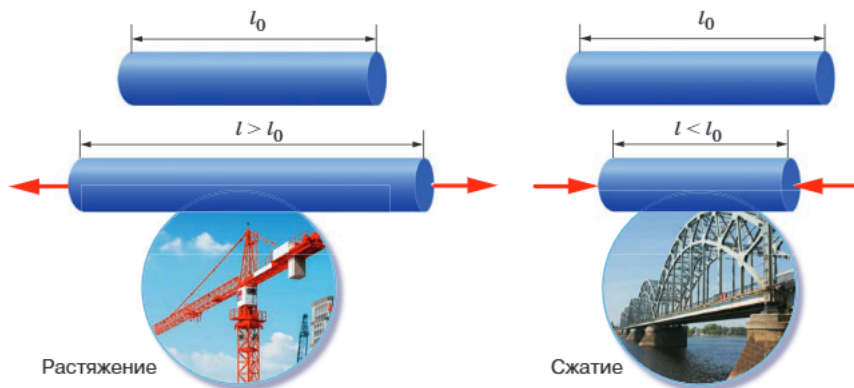
## ВАЖНО

**Сила упругости** — это сила, возникающая при деформации тела, стремящаяся вернуть тело в первоначальное состояние.

Упругая сила, действующая на тело со стороны опоры, называется **силой реакции опоры**.

**ДЕФОРМАЦИИ.** Взаимодействие тел часто приводит к их деформации, т. е. является причиной изменения формы и размеров тел. Встречаются различные виды деформаций.

Деформация растяжения — деформация, при которой происходит увеличение линейных размеров тел. Данный вид деформации испытывают тросы, канаты, цепи в подъёмных устройствах, стяжки между вагонами.

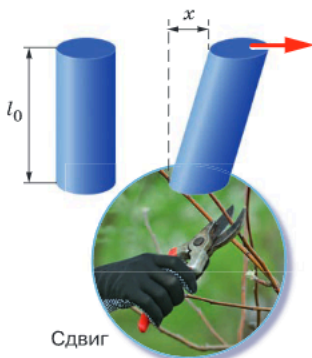


Растяжение

Сжатие

Деформация сжатия — деформация, при которой происходит уменьшение линейных размеров тел. Данный вид деформации испытывают опоры мостов, фундаменты строений, материалы, подвергающиеся прессованию.

Деформация сдвига — деформация, при которой происходит смещение слоёв тела друг относительно друга. Деформации сдвига подвержены все балки в местах опор, заклёпки и болты, скрепляющие детали. Большое смещение может привести к разрушению тела — срезу. Срез происходит при использовании ножниц, долота, пилы.



Сдвиг



Изгиб



Кручение

Деформация изгиба — деформация, при которой происходит растяжение внешних слоёв и сжатие внутренних слоёв тела, средний слой практически не деформируется. Деформации изгиба возникают при прогибе опоры. Чем больше прогибается опора, тем больше сила упругости.

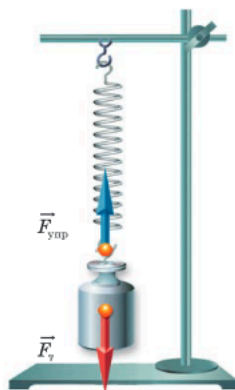
Деформация кручения — это деформация, при которой слои тела сдвигаются относительно друг друга, поворачиваясь при этом вокруг своей оси. Деформации кручения возникают при завинчивании гаек, при вращении валов машин, при работе сверла и т. п.

Причина деформации заключается в том, что при воздействии на тело различные его части движутся по-разному. Если бы все части тела двигались одинаково, то тело всегда сохраняло бы свою первоначальную форму и размеры, т. е. оставалось бы недеформированным.

Если нажать пальцем на мягкий кусочек пластилина, лежащий на столе, то верхние слои переместятся вниз, а нижние останутся неподвижными. Разные части пластилина смещаются по-разному, и возникает деформация.

**НАПРАВЛЕНИЕ СИЛЫ УПРУГОСТИ.** Сила упругости всегда направлена противоположно той силе, которая вызвала изменение формы или размеров тела.

Сила упругости (сила реакции опоры) распределена по всей площади контакта тела с опорой и, как говорилось ранее, приложена к телу. Она зависит от вида деформации, и часто для разных слоёв тела её значение различно. Если тело прикреплено к подвесу, например гирька растягивает пружину, то сила упругости распределена по всей длине пружины. При этом для удобства силу упругости изображают стрелкой, приложенной в точке подвеса гирьки к пружине.



- ! Сила упругости — это сила, возникающая при деформации тела, стремящаяся вернуть его в первоначальное состояние.
- ! Сила упругости всегда направлена противоположно той силе, которая вызвала изменение формы или размеров тела.

## ВЫВОДЫ

Сила упругости; деформация

КЛЮЧЕВЫЕ  
СЛОВА

И ВОПРОСЫ  
ЗАДАНИЯ

1. Когда возникает сила упругости?
2. Что такое сила реакции опоры?
3. Какие виды деформаций вы знаете?
4. Какой вид деформации испытывают валы автомобиля, на которые насажены колёса?

- Деформацию испытывают кости, мышцы, суставы человека и животных.

## § 34 ЗАКОН ГУКА. ДИНАМОМЕТР

### НОВОЕ В УРОКЕ

- Как формулируется закон Гука.
- Что такое коэффициент упругости пружины.
- Каким прибором измеряется сила.

### ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое сила?
- Каковы единицы силы?
- Что такое сила тяжести?
- Как рассчитать силу тяжести?
- Что такое сила упругости?

Английский физик Роберт Гук, современник И. Ньютона, в 1660 г. экспериментально установил, как зависит сила упругости от деформации тела.

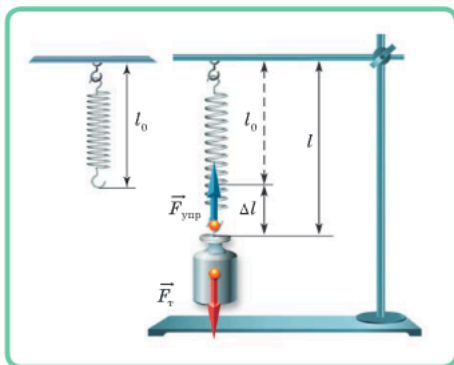
**УПРУГИЕ И ПЛАСТИЧЕСКИЕ ДЕФОРМАЦИИ.** Деформации, которые полностью исчезают, как только прекращается действие деформирующей силы, называются упругими.

Деформации, которые не исчезают после прекращения действия деформирующей силы, называются пластическими.

Если пружину слегка растянуть, а затем отпустить, то она примет первоначальную форму. Но эту же пружину можно растянуть настолько, что после того, как её отпустят, она так и останется растянутой.

**ЗАКОН ГУКА.** Проведём следующий опыт.

### ИССЛЕДОВАНИЕ



К штативу подвесим пружину и измерим её длину. Пусть длина нерастянутой пружины равна  $l_0$ . Если теперь к ней подвесить грузик, то пружина растянется и её длина станет равна  $l$ . Растяжение пружины равно  $\Delta l = l - l_0$ . Чем тяжелее грузик, тем сильнее растягивается пружина и тем больше значение  $\Delta l$ . Каждый раз при подвешивании груза пружина растягивается до определённого состояния, после чего движение груза прекращается и система приходит в состояние равновесия. Это означает, что сила тяжести, действующая на груз, компен-

сируется силой упругости, возникающей в пружине. Сила тяжести определяется по формуле  $F_{\text{тяг}} = mg$ . Следовательно, чем больше масса груза, тем больше значение силы тяжести, действующей на него, и, соответственно, больше значение силы упругости, уравновешивающей её. Тщательные измерения в данном опыте показывают, что растяжение пружины прямо пропорционально значению силы упругости.

Опыт подтверждает закон, названный в честь учёного, открывшего его, законом Гука: **для упругих деформаций модуль силы упругости при растяжении (или сжатии) тела прямо пропорционален деформации тела (например, изменению его длины).**

Коэффициент пропорциональности в законе Гука называют коэффициентом упругости тела (стержня, пружины и т. п.) или жёсткостью. Он зависит от формы и размеров тела, а также от материала, из которого оно изготовлено.

Коэффициент упругости в СИ выражается в *ньютон на метр* (Н/м).

**ВАЖНО**

Если обозначить величины: модуль силы упругости —  $F_{\text{упр}}$ , изменение длины тела —  $\Delta l$ , коэффициент упругости тела —  $k$ , то **закон Гука** записывается в виде:

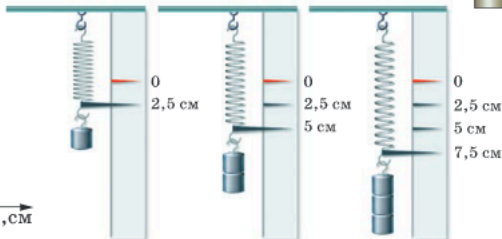
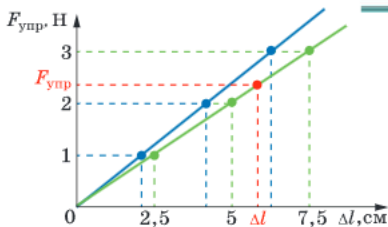
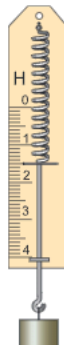
$$F_{\text{упр}} = k\Delta l.$$

Станки и инструменты при работе испытывают различные виды деформации. Например, молоток — деформацию сжатия, отвёртка — деформацию сжатия и кручения, ножницы — деформацию сжатия и сдвига. Поэтому при их изготовлении выбирают материалы повышенной прочности, чтобы они были рассчитаны на упругие деформации. На пластических деформациях основаны такие технологические процессы обработки материалов, как прокатка, волочение,ковка, штамповка, лепка и др.

**ДИНАМОМЕТР.** Закон Гука лежит в основе действия прибора для измерения силы — динамометра (от греч. *dinamis* — сила и *metron* — мера). Принцип действия пружинного динамометра основан на сравнении любой силы с силой упругости пружины. На практике используют динамометры самого разного типа.

Простейший пружинный динамометр (*динамометр Бакушинского*) состоит из пружины с двумя крючками, укрепленной на дощечке. Дощечка снабжена шкалой, а к нижнему концу пружины прикреплен указатель.

**ГРАФИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЗАКОНА ГУКА.** Построим график зависимости силы упругости от деформации пружины динамометра. Для этого будем последовательно подвешивать к динамометру



грузики определённой массы и измерять соответствующие значения силы упругости и растяжения пружины. Так как сила тяжести, действующая на тело массой 1 кг, равна 9,8 Н, то сила, равная 1 Н, будет действовать на тело, масса которого в 9,8 раза меньше и равна 102 г.

Пусть под влиянием силы тяжести, действующей на груз, пружина динамометра растягивается на  $\Delta l_1 = 2,5$  см. Нанесём на график (см. с. 127) соответствующую точку (зелёным цветом). Подвесим к крючку ещё один такой же груз и повторим описанный опыт. Суммарная масса груза в этом случае равна 204 г, а деформация  $\Delta l_2 = 5$  см. Нанесём соответствующую точку на координатную плоскость. Прделаем аналогичные действия для трёх грузов. Можно увидеть, что все три точки лежат на одной прямой.

Как по графику определить значение коэффициента упругости пружины? По закону Гука  $k = F_{\text{упр}}/\Delta l$ . Если взять любую точку, лежащую на прямой, и определить её координаты, то по оси абсцисс мы получим значение  $\Delta l$ , а по оси ординат — значение  $F_{\text{упр}}$ . Поделив одно значение на другое, получим искомую величину.

Повторив описанный опыт с другой пружиной, получим другой график (прямую синего цвета), который отличается от предыдущего углом наклона к оси абсцисс. Чем больше коэффициент упругости пружины, тем угол наклона больше.

## ВЫВОДЫ

- ! Закон Гука: для упругих деформаций модуль силы упругости при растяжении (или сжатии) тела прямо пропорционален изменению длины тела.
- ! Прибор для измерения силы называется динамометром.

КЛЮЧЕВЫЕ  
СЛОВА

Закон Гука; пластические деформации; упругие деформации; динамометр

И ВОПРОСЫ  
ЗАДАНИЯ

1. От чего зависит коэффициент упругости тела?
2. При каких условиях упругая деформация может превратиться в пластическую?
3. Два мальчика растягивают динамометр. Каждый прикладывает силу 100 Н. Что показывает динамометр?
4. По какой почве легче ехать на велосипеде: по мягкой или по твёрдой? Ответ поясните.
5. Объясните, почему стальной шар легко отскакивает от каменного пола, но плохо отскакивает от асфальта.

# ВЕС ТЕЛА. НЕВЕСОМОСТЬ § 35

## НОВОЕ В УРОКЕ

В повседневной жизни мы очень часто используем слово «вес». Мы говорим: вес продуктов, вес нашего тела. При этом зачастую под словом «вес» подразумевается масса тела. В физике используют термины «вес», «масса» и «сила тяжести», и все они обозначают совершенно разные понятия.

- Что такое вес тела.
- Чем отличается вес тела от силы тяжести.
- Чем отличается вес тела от массы.
- Что такое невесомость.

## ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое сила тяжести?
- Что такое сила упругости?
- Что такое динамометр?
- Каковы единицы силы?

**ВЕС ТЕЛА.** Рассмотрим тело, подвешенное к динамометру. На само тело действуют сила тяжести и сила упругости пружины. Именно поэтому тело находится в равновесии. Но и растянутая пружина также находится в равновесии, хотя сила упругости, возникающая в ней, стремится вернуть её в первоначальное состояние. То есть не только пружина действует на тело, но и тело действует на пружину с некоторой силой.

## ВАЖНО

Сила, с которой тело, находящееся под действием силы тяжести, действует на опору или подвес, называется **весом тела**.

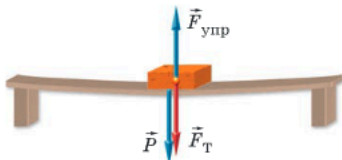
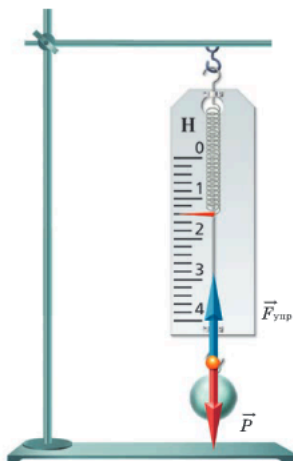
Таким образом, на крючок динамометра действуют две силы: сила упругости пружины и вес тела.

Если тело положить на опору, то в этом случае также происходит взаимодействие опоры и тела. Опора действует на тело с силой реакции опоры, а тело действует на опору с силой, называемой *весом тела*.

Вес тела, как и любая сила, — векторная величина. Вес тела обозначают буквой  $\vec{P}$ . Сила упругости и вес тела имеют противоположные направления: сила упругости направлена вверх, а вес тела — вниз. При этом модули этих сил равны:

$$P = F_{\text{упр.}}$$

Именно поэтому говорят, что динамометром можно измерять не только силу упругости, но и вес тела. Динамометр также называют *пружинными весами*.



**ВЕС ТЕЛА И СИЛА ТЯЖЕСТИ.** Вес возникает в результате притяжения Земли и зависит от состояния движения тела.

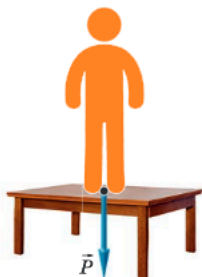
Если тело и опора находятся в покое или движутся равномерно и прямолинейно, то вес тела по своему числовому значению равен силе тяжести, действующей на тело:

$$P = F_T, \text{ или } P = mg.$$

**ВАЖНО**

Если обозначить величины: вес тела —  $P$ , массу —  $m$ , ускорение свободного падения —  $g$ , то **вес** тела рассчитывается по формуле

$$P = mg.$$



При этом важно помнить, что сила тяжести и вес тела не одно и то же, **они имеют различную физическую природу**: сила тяжести возникает вследствие взаимодействия тела и Земли, а вес — в результате взаимодействия тела и опоры. Именно поэтому сила тяжести приложена к телу, а вес приложен к опоре или подвесу.

**ВЕС ТЕЛА И МАССА.** Единицей веса тела, как и любой силы, является *ньютон*. Вес имеет числовое значение, направление и точку приложения.

Вес тела не следует путать с массой, которая измеряется в килограммах и является скалярной величиной, т. е. величиной, не имеющей направления и точки

приложения. Так, ребёнок, масса которого 30 кг, имеет вес, равный 300 Н, если считать, что  $g = 10$  Н/кг.



При помощи обычного школьного динамометра определите вес книги, зная, что этот вес заведомо сильно превышает пределы шкалы используемого прибора.

**ПОМОЩНИК.** Используйте в качестве дополнительного оборудования нитки и скотч. Книгу рвать строго запрещается!

**ЗАВИСИМОСТЬ ВЕСА ОТ УСЛОВИЙ, В КОТОРЫХ НАХОДИТСЯ ТЕЛО.** Вес тела равен по своему числовому значению силе тяжести, если тело находится на неподвижной опоре (или неподвижном подвесе) или если опора (подвес) вместе с телом движется равномерно и прямолинейно. Если же опора (подвес) вместе с телом движется неравномерно по линии действия силы, т. е. вверх или вниз, то тело действует на опору сильнее или слабее, чем при равномерном движении. В этом случае вес тела может быть больше силы тяжести, меньше её или быть равным нулю.

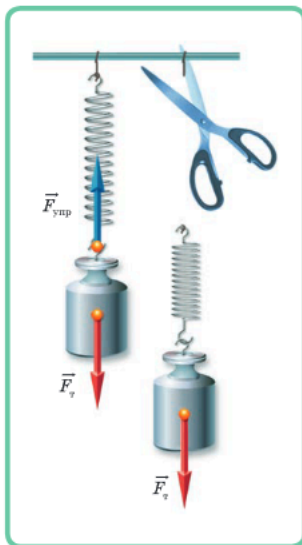
## ФИЗИКА В ЖИЗНИ

Поднимаясь на скоростном лифте, в самом начале движения мы ощущаем, как нас слегка прижимает к полу. А при спуске нас как будто слегка приподнимает. Дело в том, что при ускоренном движении лифта вверх вес тела увеличивается, а при движении вниз — уменьшается. Этот факт можно проверить, если подняться или спуститься в лифте, стоя на весах.

**НЕВЕСОМОСТЬ.** Проведём следующий опыт.

## ИССЛЕДОВАНИЕ

Подвесим на нитке пружину, а к ней прикрепим груз. В результате пружина растянется. Теперь перережем нить и понаблюдаем за процессом падения пружины вместе с грузом. В течение всего времени падения пружина будет оставаться нерастянутой. Получается, что при падении груз не действует на пружину и, следовательно, его вес в это время равен нулю.



Таким образом, **свободно падающее тело не действует на свободно падающую вместе с ним пружину.** В этом случае вес тела равен нулю. Про такое тело говорят, что оно находится в состоянии невесомости. При этом сила тяжести по-прежнему действует на тело и заставляет его падать.

Подобные явления наблюдаются и на космических станциях, обращающихся вокруг Земли. Космическая станция и все находящиеся в ней тела, включая космонавта, обращающегося вокруг Земли, как бы непрерывно свободно падают на Землю. Вследствие этого все находящиеся на космической станции тела не действуют на опоры, а подвешенные к пружине не растягивают её; все предметы находятся в состоянии невесомости. Однако при разгоне космического корабля, когда он выходит на орбиту, или при торможении, во время посадки, вес космонавта оказывается больше силы тяжести и космонавт испытывает большие перегрузки.

Многие физические явления в космосе в условиях невесомости происходят иначе, чем на Земле. Поэтому на космических станциях проводятся различные эксперименты, которые помогают лучше понять те или иные физические законы и в дальнейшем применить их на практике. Например, пламя свечи в невесомости совсем не похоже на то, что мы видим на Земле. Изучение этого явления помогло улучшить пожарную безопасность на космических кораблях, а также повысить эффективность двигателей внутреннего сгорания, работающих на Земле.



**ВЕС ТЕЛА НА РАЗНЫХ ПЛАНЕТАХ.** Вы уже знаете, что если тело находится в покое или движется равномерно и прямолинейно, то его вес равен силе тяжести:  $P = mg$ .

Так как на разных планетах ускорение свободного падения  $g$  различно, то, следовательно, будет различаться и вес тел. При этом масса тела везде одинакова, независимо от того, на какой планете оно находится. Пусть, например, масса космонавта равна 100 кг. Такую же массу космонавт будет иметь и на Марсе, и на Луне, и на Юпитере.

Определим вес космонавта на Земле и других космических объектах.

На Земле ускорение свободного падения  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ , поэтому

$$P_{\text{З}} = 100 \text{ кг} \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 = 980 \text{ Н.}$$

На Луне  $g_{\text{Л}} = 1,6 \text{ м/с}^2$ , поэтому вес космонавта на Луне будет меньше, чем на Земле:

$$P_{\text{Л}} = 100 \text{ кг} \cdot 1,6 \text{ м/с}^2 = 160 \text{ Н.}$$

На Юпитере  $g_{\text{Ю}} = 24,8 \text{ м/с}^2$ , следовательно, вес космонавта на Юпитере в несколько раз превышает вес на Земле:

$$P_{\text{Ю}} = 100 \text{ кг} \cdot 24,8 \text{ м/с}^2 = 2480 \text{ Н.}$$

#### Выводы

- ❗ Сила, с которой тело действует на опору или подвес, называется весом тела.
- ❗ Если вес тела равен нулю, то говорят, что тело находится в состоянии невесомости.

#### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Вес тела; невесомость; перегрузки

#### и ВОПРОСЫ ЗАДАНИЯ

1. При каком условии вес тела не равен силе тяжести?
2. Чем отличается вес тела от массы?
3. Рычажные весы, на которых уравновешено тело, начинают свободно падать. Сохранится ли равновесие весов?
4. Показание динамометра равно 4 Н. Что будет показывать динамометр, если он вместе с телом начнёт свободно падать? Что можно сказать о массе тела и силе тяжести?
5. Предметы в космическом корабле находятся в состоянии невесомости. Что это означает? Действует ли на эти предметы сила тяжести? Имеют ли они массу?

# РАВНОДЕЙСТВУЮЩАЯ СИЛА § 36

## НОВОЕ В УРОКЕ

- Что такое равнодействующая сила.
- Как определить равнодействующую сил, направленных по одной прямой.

## ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

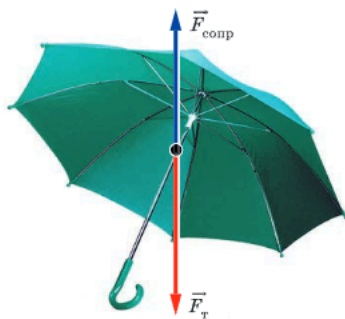
- Что такое сила?
- Каковы единицы силы?
- Что такое сила тяжести?

Обычно тела движутся под действием не одной, а сразу нескольких сил. Например, на зонт, падающий на землю, действуют сила тяжести и сила сопротивления воздуха. На движущийся лифт действует сила тяжести, а также сила тяги его двигателя.

**РАВНОДЕЙСТВУЮЩАЯ СИЛА.** Если на тело одновременно действует несколько сил, то их можно заменить одной силой, равноценной по своему действию всем этим силам.

## ВАЖНО

Сила, которая производит на тело такое же действие, как несколько одновременно действующих сил, называется **равнодействующей** этих сил.



На предыдущих уроках говорилось, что сила, действующая на тело, является причиной изменения скорости его движения. Чтобы понять, как будет двигаться тело, если на него действует сразу несколько сил, необходимо найти равнодействующую этих сил.

## РАВНОДЕЙСТВУЮЩАЯ ДВУХ СИЛ, НАПРАВЛЕННЫХ ПО ОДНОЙ ПРЯМОЙ.

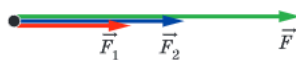
Рассмотрим ситуацию, когда две силы, действующие на тело, направлены в одну и ту же сторону.

Если необходимо сдвинуть с места тяжёлый предмет и это не под силу одному человеку, то за дело берутся несколько человек. При этом они толкают тяжёлый предмет в одну и ту же сторону. Наш жизненный опыт говорит, что в подобной ситуации усилия складываются.

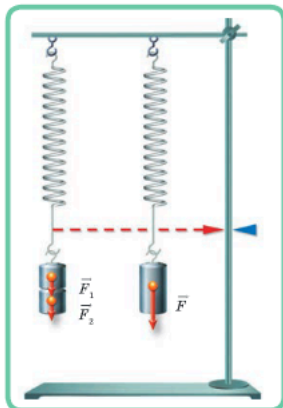
Действительно, если на тело действуют две силы, направленные по одной прямой в одну сторону, то их равнодействующая направлена в ту же сторону, а её модуль равен сумме модулей составляющих сил:

$$F = F_1 + F_2. \quad (1)$$

Рассмотрим опыт, подтверждающий сказанное.



## ИССЛЕДОВАНИЕ



Подвесим к пружине два груза. На каждый из грузов действует сила тяжести. На пружину действует сила, представляющая собой вес, который равен сумме сил тяжести грузов.

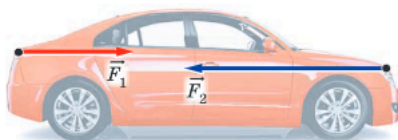
Отметим, насколько растянулась пружина.

Теперь к той же пружине подвесим груз, масса которого равна сумме масс грузов, использовавшихся ранее. При этом пружина растянется так же, как и в предыдущем случае.

Следовательно, на пружину действует сила, равная сумме сил тяжести, действующих на каждый из грузов.

Из опыта видно, что равнодействующая двух сил, направленных по одной прямой в одну сторону, направлена в ту же сторону и по модулю равна сумме модулей этих сил.

Выясним теперь, как найти равнодействующую сил, направленных по одной прямой в разные стороны.

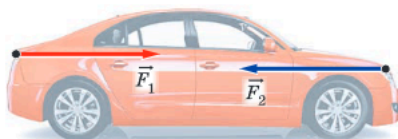


**Если на тело действуют две силы, направленные по одной прямой в противоположные стороны, то их равнодействующая направлена в сторону большей по модулю силы, а её модуль равен разности модулей составляющих сил:**

$$F = F_2 - F_1. \quad (2)$$

Если направление движения тела совпадает с направлением равнодействующей силы, то скорость движения тела возрастает. Например, если мы начнём подталкивать движущуюся тележку в направлении её движения, то её скорость будет увеличиваться.

Если направление движения тела противоположно направлению равнодействующей силы, то скорость движения тела уменьшается.



**СОСТОЯНИЕ РАВНОВЕСИЯ.** Чему будет равна равнодействующая двух сил, одинаковых по модулю и направленных в противоположные стороны?

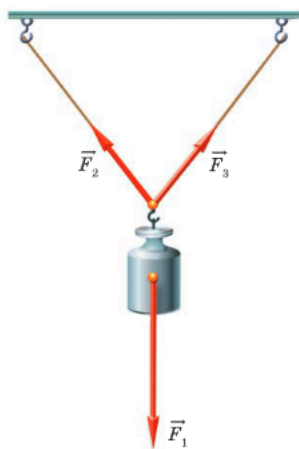
Если два человека начнут толкать некоторый предмет с одинаковой силой в противоположных направлениях, он не сдвинется с места. Согласно формуле (2) равнодействующая в этом случае будет равна нулю.

Итак, если на тело действуют две равные по модулю и противоположные по направлению силы, то их равнодействующая равна нулю.

В этом случае говорят, что силы *уравновешивают*, или *компенсируют*, друг друга.

В случае, когда равнодействующая сил, действующих на тело, равна нулю, тело находится в состоянии равновесия. При этом оно либо покоится, либо движется равномерно и прямолинейно.

Силы могут уравновешивать друг друга, действуя не только вдоль одной прямой, но и в более сложных случаях, когда несколько сил, действующих в различных направлениях, компенсируют действие друг друга (см. рисунок). При этом тело находится в состоянии равновесия.



При проектировании и конструировании различных архитектурных и инженерных сооружений огромную роль играют расчёты, связанные с устойчивостью конструкций. При этом важно учитывать величину и направление всех сил, действующих на различные элементы сооружения. Чтобы конструкция была долговечной и прочной, все приложенные силы должны уравновешивать друг друга.



Сила, которая производит такое же действие, как несколько одновременно действующих сил, называется равнодействующей этих сил.



Когда равнодействующая сил, действующих на тело, равна нулю, тело находится в состоянии равновесия.

#### ВЫВОДЫ

Равнодействующая сила; состояние равновесия

КЛЮЧЕВЫЕ  
СЛОВА

И  
ВОПРОСЫ  
ЗАДАНИЯ

1. Какую силу называют равнодействующей?
2. Чему равна равнодействующая двух сил, направленных по одной прямой: в одну сторону; в разные стороны?
3. Снаряд, достигнув высшей точки траектории, разрывается на множество осколков. Можно ли в данном случае говорить о равнодействующей сил тяжести, действующих на разные осколки?

# § 37 СИЛА ТРЕНИЯ

## НОВОЕ В УРОКЕ

- Что такое сила трения.
- Каковы причины возникновения силы трения.
- Как можно уменьшить силу трения.
- Какие виды трения существуют.

## ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое сила?
- Каковы единицы силы?
- От чего зависит результат действия силы?

Как движется игрушечная машинка после того, как её толкнули? Сначала она катится по полу, а потом останавливается. Если она будет двигаться по ковру, она остановится гораздо быстрее. После толчка на машинку больше не действует сила, заставившая её двигаться. При отсутствии действия других сил машинка продолжала бы двигаться равномерно и прямолинейно, а не замедляла бы своё движение. В чём же причина её остановки?

**СИЛА ТРЕНИЯ.** В рассмотренном примере на машинку действует сила, обусловленная соприкосновением колёс машинки с полом и препятствующая её движению.

## ВАЖНО

Сила, возникающая между поверхностями соприкасающихся тел и препятствующая их относительному перемещению, называется **силой трения**.

**ВИДЫ СУХОГО ТРЕНИЯ.** Различают три вида сухого трения: *скольжения, качения и покоя*.

Трение скольжения возникает в случае, когда одно тело скользит по поверхности другого. Примером такого трения служит скольжение по снегу на санках или лыжах, перемещение коробки по поверхности пола.

В этих и подобных случаях **сила трения скольжения имеет направление, противоположное направлению движения тела**.

Трение качения возникает в случае, когда одно тело катится по поверхности другого тела. Например, такое трение возникает при движении колёс велосипеда или автомобиля, при перекатывании по земле мяча или другого круглого предмета.

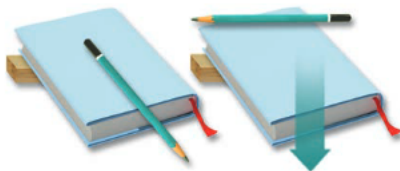


**Сила трения качения имеет направление, противоположное направлению движения тела.**

Когда тело находится в покое на наклонной плоскости, оно удерживается на ней силой трения. Если бы не было этой силы, то тело под действием силы тяжести соскользнуло бы вниз. Эту силу называют силой трения покоя. Сила трения покоя не даёт развязаться банту на ленте, удерживает нитку, когда мы шьём, благодаря силе трения покоя не расстёгиваются застёжки-липучки.

На книгу, край которой чуть-чуть приподнят, положим ручку или круглый карандаш сначала вдоль, а потом поперёк книги. В первом положении карандаш удерживается на книге и не движется (не скользит). Сила трения покоя препятствует движению карандаша так, что движение даже не может начаться. Во втором положении карандаш, естественно, покатится.

Многочисленные опыты подтверждают, что **при равных нагрузках сила трения качения всегда меньше силы трения скольжения.**

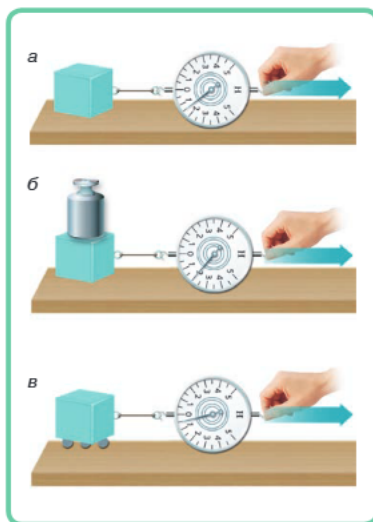


#### ИССЛЕДОВАНИЕ

Прикрепим динамометр к бруску и попытаемся сдвинуть его с места (рис. а). По мере растяжения пружины показания динамометра будут увеличиваться и, следовательно, будет увеличиваться сила трения покоя. Когда действующая на брусок сила превысит максимально возможную силу трения покоя, брусок начнёт двигаться. Если брусок движется равномерно, то приложенная к нему сила равна по модулю силе трения скольжения. Если на брусок положить груз и повторить опыт, то показания динамометра увеличатся (рис. б).

Таким образом, чем больше сила, прижимающая тело к поверхности, тем больше возникающая при этом сила трения.

Положив деревянный брусок на круглые палочки, можно измерить силу трения качения (рис. в). Она окажется существенно меньше силы трения скольжения.



**ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ СИЛЫ ТРЕНИЯ.** Можно выделить две причины возникновения силы трения: шероховатость поверхностей соприкасающихся тел и взаимное притяжение молекул соприкасающихся тел.

Даже гладкие на первый взгляд соприкасающиеся поверхности имеют неровности — бугорки, царапины. Когда одно из тел скользит или катится по поверхности другого, эти неровности цепляются друг за друга. Это

создаёт силу трения, препятствующую движению. Если же поверхности тел хорошо отполированы, то при их соприкосновении некоторые молекулы одного и другого тела располагаются очень близко друг к другу и сила трения возникает из-за притяжения молекул соприкасающихся тел.

**СИЛА ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ.** Когда действующая на брусок со стороны динамометра сила упругости незначительно превысит силу трения покоя, то брусок начнёт скользить по поверхности (см. рисунок *a* в рубрике «Исследование» на с. 137). опыты показывают, что **сила трения скольжения прямо пропорциональна силе, прижимающей брусок к поверхности**. Как вы уже знаете, этой силой является сила тяжести. Так как в данном случае тело не движется в вертикальном направлении, сила тяжести уравновешивается *силой реакции опоры*. Значит, сила тяжести и сила реакции опоры равны по модулю. Обозначим силу реакции опоры, направленную перпендикулярно поверхности скольжения,  $\vec{N}$ . Эту силу также называют *силой нормальной реакции опоры* (от слова «нормаль» — перпендикуляр). Тогда можно записать:

$$F_{\text{тр}} = \mu N,$$

где *коэффициент пропорциональности*  $\mu$  не зависит от прижимающей силы. Он называется *коэффициентом трения*. Этот коэффициент зависит от материалов, из которых изготовлены поверхности соприкасающихся тел, а также от качества обработки поверхностей и их состояния.

#### ВАЖНО

Если обозначить величины: сила трения —  $F_{\text{тр}}$ , сила нормальной реакции —  $N$ , коэффициент трения —  $\mu$ , то **силу трения скольжения** рассчитывают по формуле:

$$F_{\text{тр}} = \mu N.$$

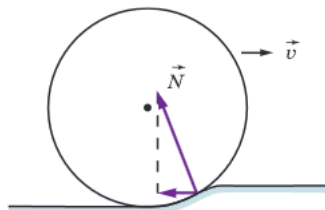
#### ЭТО ИНТЕРЕСНО



Леонардо да Винчи  
(1452—1519)

В истории человечества Леонардо да Винчи заслуженно считается универсальным гением. Среди его бесчисленных научных достижений и первая формулировка законов трения. Ещё в 1519 г. он утверждал, что сила трения, возникающая при контакте тела с поверхностью другого тела, пропорциональна нагрузке (силе прижатия), направлена против движения и не зависит от площади контакта. Закон трения был переоткрыт через 180 лет Г. Амонтоном и получил окончательную формулировку в работах Ш. О. Кулона (1781). Кулон в своих опытах исследовал зависимость силы трения скольжения от относительной скорости соприкасающихся тел. Эксперименты Кулон проводил на судостроительной верфи и поэтому в качестве нагрузки использовал тела, масса которых достигала 1000 кг.

**ТРЕНИЕ КАЧЕНИЯ.** В окружающем нас мире не существует абсолютно недеформируемых тел. Когда железнодорожное колесо катится по рельсу, то деформируются и рельс, и колесо. Это изображено на рисунке в сильно увеличенном масштабе. Колесо при своём движении всё время как бы накатывается на своеобразный «бугорок», который образуется в результате деформации тел. Так возникает тормозящее воздействие на катящееся колесо, связанное с трением качения.



**СИЛА СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРИ ДВИЖЕНИИ ТЕЛА В ЖИДКОСТИ ИЛИ ГАЗЕ.** При движении тел в жидких и газообразных средах возникает трение, называемое вязким, которое существенно меньше сил *сухого трения* (между сухими соприкасающимися поверхностями). Вязкое трение зависит от свойств среды, размеров и формы тела, а также от скорости движения тела. При небольших скоростях сила сопротивления пропорциональна скорости тела, а при больших скоростях сила сопротивления пропорциональна квадрату скорости.

! Силу, возникающую между поверхностями соприкасающихся тел и препятствующую их относительному перемещению, называют силой трения.

! Причины возникновения силы трения: шероховатость поверхностей соприкасающихся тел и взаимное притяжение молекул соприкасающихся тел.

## ВЫВОДЫ

Сила трения; трение покоя; трение скольжения; трение качения

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

## ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Всегда ли сила трения замедляет движение тела?
2. Можно ли кататься на коньках по отполированному мраморному полу?
3. Тело лежит на шероховатой горизонтальной поверхности. Действует ли на тело сила трения покоя?
4. В чём заключаются причины возникновения трения?
5. Какими способами можно уменьшить трение скольжения?
6. Почему полировка и шлифовка соприкасающихся деталей уменьшают трение?
7. Медицинские иглы полируют до зеркального блеска. Для чего это делают?
8. Почему автомобилю трудно тронуться с места на обледенелой дороге?
9. На столе в вагоне поезда лежат книга и мяч. Почему, когда поезд тронулся с места, мяч покатился назад (относительно поезда), а книга осталась в покое?

## § 38 ТРЕНИЕ В ПРИРОДЕ

### НОВОЕ В УРОКЕ

- Какова роль трения в природе.

#### ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое сила трения?
- Какие виды трения существуют?

В природе трение имеет огромное значение. Не будь силы трения, мы не смогли бы ни ходить по земле, ни удерживать в руках предметы. При этом есть различные ситуации, в которых возникает необходимость как в увеличении, так и в уменьшении силы трения. В процессе эволюции появились удивительные примеры обеспечения очень маленького трения благодаря смазке соприкасающихся поверхностей и очень большого трения в случае присутствия природных клеев. Разнообразные примеры решения этих задач в живой и неживой природе интересны не только сами по себе. Их изучение помогает развитию инженерной мысли.

**ТРЕНИЕ И ХОДЬБА, ЛАЗАНЬЕ, ХВАТАНИЕ.** Как связан процесс ходьбы человека с силой трения? При ходьбе человек отталкивается ногами от поверхности земли и движется в результате действия силы трения покоя. Не будь её, ноги скользили бы назад и движение вперёд стало бы невозможным. Когда мы пытаемся пройти по гладкому льду, ноги на нём скользят из-за очень малой силы трения покоя. Чтобы увеличить силу трения, зимой дорожки посыпают песком.

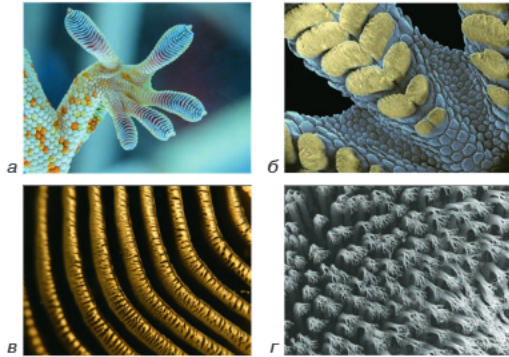
У животных сцепление с поверхностью земли достигается с помощью либо заострений на конечностях, либо мелких неровностей, например щетинок, чешуек, бугорков.

Благодаря наличию силы трения покоя мы удерживаем предметы, и они не выскальзывают из рук. У многих растений и животных для хватания есть различные органы с шероховатой поверхностью, увеличивающей силу трения. Это усики растений, хобот слона, цепкие хвосты лазающих животных.

**ЛАПКА ГЕККОНА.** Гекконы — это небольшие ящерицы, достаточно широко распространённые в различных частях Земли. Они обладают удивительной способностью удерживаться и передвигаться практически на любой поверхности. Гекконы могут двигаться вертикально вверх даже по хорошо отполированному стеклу и передвигаться по потолку. Это свойство гекконов вызывало интерес ещё у древних греков. Выдвигались различные гипотезы, но только с появлением электронного микроскопа стало возможным рассмотреть лапку геккона в деталях и изучить её строение. Оказалось, что пальцы геккона покрыты необычайно тонкими щетинками и на  $1 \text{ мм}^2$  приходится более 10 000 волосков. При этом каждый волосок сам разделяется на сотни ещё более мелких волокон.



Геккон



- а) лапка геккона;
- б) подушечка пальца геккона под микроскопом;
- в) щетинки лапки геккона;
- г) щетинки лапки геккона при большом увеличении

Такое строение лапки обеспечивает достаточно большое значение сил межмолекулярного взаимодействия, объясняющее удивительные способности этой ящерицы. Но геккон не «прилипает» к поверхности, а движется по ней. Это объясняется способностью щетинок легко открепляться при изменении угла их наклона по отношению к поверхности.

Изучение строения лапки геккона подтолкнуло учёных к созданию материалов с микро- и нановолокнами, обеспечивающих хорошее сцепление с поверхностью, которые используются, например, при разработке роботов, способных двигаться вертикально вверх по стенам.

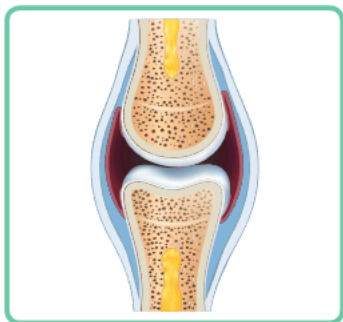


**СЛИЗЬ И ТРЕНИЕ.** Слизью называется вязкое вещество, выделяемое некоторыми клетками живых организмов. Слизь различных живых организмов имеет разный химический состав. Она может служить как для увеличения трения, так и для его уменьшения.

Слизь играет большую роль в движении улитки. Она работает как уникальный клей, который меняет свои свойства в зависимости от характера движения, становясь то более, то менее прочным. Ещё один интересный пример — древесные лягушки. На их лапках выделяется слизь, которая помогает им лазать по деревьям. При этом состав слизи таков, что благодаря трению о кору дерева лягушки могут не только двигаться в вертикальном направлении, но и очищать лапки от прилипшего к ним мусора.

Прямо противоположную роль играет слизь, которой покрыты все виды рыб. Слизь значительно уменьшает сопротивление воды при их движении. По современным данным, сопротивление воды при движении рыб благодаря слизи уменьшается более чем на 50%.

**СТРОЕНИЕ СУСТАВОВ.** Тело человека или животного, подобно механизму, состоит из множества отдельных частей, способных скоординированно двигаться. Суставы имеют очень гладкую поверхность, что позволяет умень-



Кожа акулы под микроскопом

шить трение в местах подвижного соединения костей скелета (суставах) и предотвратить их изнашивание. Кроме этого, внутренняя оболочка полости сустава выделяет специальную синовиальную жидкость, которая обеспечивает смазку между суставами. Строение суставов до сих пор привлекает большое внимание исследователей, так как оно является примером удивительного природного механизма снижения трения благодаря наличию смазки и строению вещества, из которого состоят их отдельные части.

**КОЖА АКУЛЫ.** Для рыб и других водоплавающих уменьшение трения с водой играет исключительно важную роль. Кроме слизи, покрывающей их тело, огромное значение имеют форма тела и способы движения. Инженеры используют эти примеры для разработки различных подводных аппаратов.

Примером другого интересного способа уменьшения трения на границе с жидкостью является структура кожи акулы. Её кожа покрыта мелкими (0,2—0,5 мм) чешуйками с крошечными продольными гребнями на макушке. Такая форма по-

верхности кожи позволяет акулам развивать большие скорости и преодолевать большие расстояния в поисках пищи.

## ВЫВОД

! Сила трения играет огромную роль в природе.

КЛЮЧЕВЫЕ  
СЛОВА

Сила трения; геккон; улитка; акула; суставная жидкость

И ВОПРОСЫ  
ЗАДАНИЯ

1. Объясните, каким образом геккон может удерживаться и передвигаться на гладких вертикальных поверхностях и потолке.
2. Зачем нужна суставная жидкость?
3. Какие способы уменьшения трения для движения в воде существуют в живой природе?
4. Жидкое трение существенно меньше сухого трения. Почему же тогда слизь, выделяющаяся на лапках древесных лягушек, помогает им перемещаться вверх по стволу дерева?
5. Липкие пальцы легко скользят друг по другу. Но почему при этом они ощутимо прилипают друг к другу?

# ТРЕНИЕ В ТЕХНИКЕ § 39

## НОВОЕ В УРОКЕ

- Какова роль трения в технике.

## ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

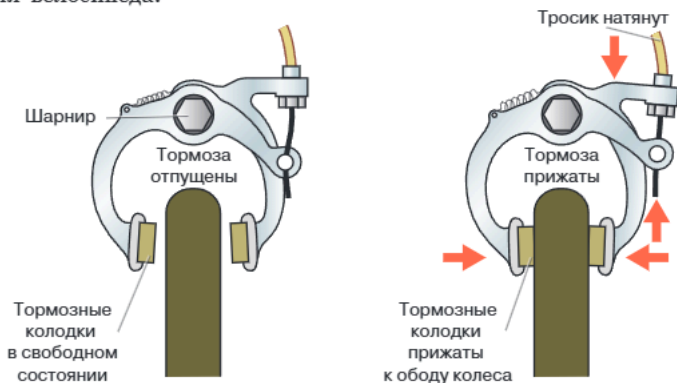
- Какие виды трения существуют?
- Каковы примеры уменьшения или увеличения силы трения в природе?

Как и в природе, в технике трение имеет огромное значение. Можно сказать, что трение может быть как полезным, так и вредным. Роль значительного числа технических изобретений заключается в увеличении полезного трения или в уменьшении вредного. Примеры из живой и неживой природы способствовали появлению этих изобретений.

**ВЯЗАНИЕ УЗЛОВ.** Вам всем хорошо известно, что такое узел. Узлы завязывают на верёвке, если нужно что-то скрепить; шнурки, завязанные в узел, помогают удержаться на ногах кроссовкам, узелки завязывают на нитках при шитье. Почему узлы держатся и не развязываются? Причина — наличие силы трения в соприкасающихся поверхностях материала, из которого узел сделан. Чем больше сила трения, тем крепче держится узел. Крепость узла зависит от материала верёвки, из которой он завязан, и от способа завязывания узла. В историю вошли так называемые морские узлы, повсеместно применявшиеся на парусных судах. Очень важное значение имеют узлы, используемые в ткацком деле и пошиве одежды, в рыболовстве и альпинизме.

**УВЕЛИЧЕНИЕ СИЛЫ ТРЕНИЯ.** В технике часто возникает задача резкого увеличения силы трения. За счёт этого явления работает такой механизм, как тормоз, который служит для уменьшения скорости или остановки механизма или транспортного средства.

Например, когда вы едете на велосипеде и нажимаете на тормоз, тормозные колодки, которые находятся с обеих сторон колеса, прижимаются к ободу колеса. Трение между колодками и ободом замедляет скорость движения велосипеда.



**УМЕНЬШЕНИЕ СИЛЫ ТРЕНИЯ.** Кроме задачи увеличения силы трения, часто возникает задача её уменьшения. В различных механизмах движущиеся элементы из-за трения нагреваются и изнашиваются. Поэтому уменьшение силы трения становится важной задачей в инженерной деятельности. Существуют разные способы уменьшения трения. Например, подробнее рассмотрим такие способы, как введение смазки между трущимися поверхностями, использование шариковых и роликовых подшипников, применение воздушной подушки.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СМАЗКИ.** Как вы уже знаете, одной из причин трения является шероховатость поверхностей соприкасающихся тел. Для уменьшения силы трения используют смазку (например, какое-либо масло), которую вводят между трущимися поверхностями. При наличии смазки соприкасаются не сами трущиеся поверхности, а слои смазки. Как правило, в качестве смазки используют жидкость, так как трение между слоями жидкости слабее, чем между твёрдыми поверхностями. Именно поэтому мокрый пол более скользкий, чем сухой.

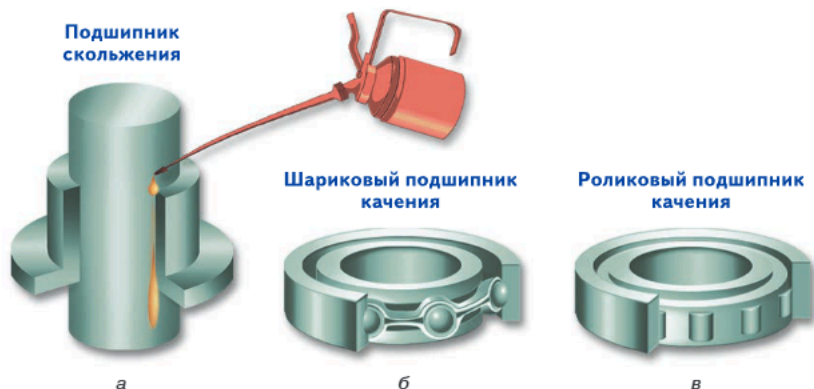


Смазочные материалы повсюду используются в современной жизни. При разработке смазочных материалов необходимо учитывать условия, в которых работают те или иные механизмы. Например, смазки, используемые в двигателях автомобилей, должны надёжно работать при температурах от  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Наука, занимающаяся изучением трения, смазки и износа различных узлов машин и механизмов, называется **трибологией**.

**ПОДШИПНИК.** Устройства, служащие опорами движущихся частей машин и других механизмов и уменьшающие трение, называются подшипниками.

Обычный подшипник состоит из внутреннего и внешнего металлических колец. Внутреннее кольцо насаживается на вал машины или другого механизма, а наружное кольцо закрепляется в корпусе.

Различают подшипники скольжения и подшипники качения.



В подшипнике скольжения (рис. а на с. 144) вращающийся вал скользит по поверхности вкладыша, который покрыт особыми материалами и специальной смазкой для уменьшения силы трения.

Устройство подшипника качения основано на том, что при одинаковых нагрузках сила трения качения существенно меньше силы трения скольжения. Подшипники качения бывают *шариковые* (рис. б) и *роликовые* (рис. в). В них внутреннее кольцо катится по внешнему на металлических шариках или роликах. При использовании таких подшипников сила трения уменьшается в десятки раз.

Подшипники используют в автомобилях, велосипедах, роликовых коньках, в вентиляторах для персональных компьютеров, в огромном количестве разнообразных станков и т. д.

### ПРИМЕНЕНИЕ ВОЗДУШНОЙ ПОДУШКИ.

В современном мире существуют машины и механизмы, использующие воздух с повышенным давлением в качестве прослойки между движущимися поверхностями. Эта прослойка сильно уменьшает возникающую при движении силу трения. Так, в высокоскоростных подшипниках сжатый воздух используется в качестве смазки.

Существуют суда и катера на воздушной подушке. На некоторых из них можно даже выехать на берег. Суда на воздушной подушке передвигаются ровнее обычных лодок и не сквозь волнующуюся воду, а над ней. Катер на воздушной подушке с равным успехом идёт по течению или против него, очень хорошо работает на порожистой стремнине и является отличным спасательным средством.

Идеи и принципы движения поезда на воздушной подушке высказал русский учёный К. Э. Циолковский в 1924 г. А первый в мире катер на воздушной подушке построил советский конструктор В. И. Левков в 1935 г.



- ! Сила трения играет огромную роль в технике. Трение может быть как полезным, так и вредным.
- ! Тормоз, который служит для замедления или остановки механизма или транспортного средства, обеспечивает увеличение силы трения.
- ! Для уменьшения силы трения в различных механизмах используют такие способы, как введение смазки между трущимися поверхностями, использование шариковых и роликовых подшипников, применение воздушной подушки.

### ВЫВОДЫ

Сила трения; подшипник; воздушная подушка; тормоз

### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

1. Какие можно привести примеры использования силы трения?
2. Как уменьшают силу трения в технических устройствах?
3. При перемещении тяжёлого шкафа под его ножки можно подложить обрезанные пластиковые бутылки? Для чего это делается?

### И ВОПРОСЫ ЗАДАНИЯ

## § 40 ВЕЛИЧАЙШИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ: ЛУК, КОЛЕСО, ДОБЫВАНИЕ ОГНЯ

### НОВОЕ В УРОКЕ

- Какое значение имеет сила трения при стрельбе из лука.
- Какова роль трения в добычании огня.
- Какова роль трения в изобретении колеса.

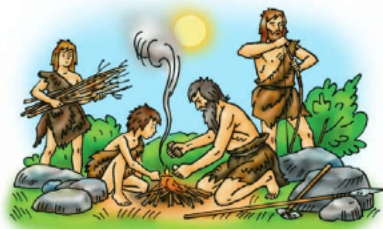
### ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое сила упругости?
- Что такое сила трения?
- Чем отличается сила трения скольжения от силы трения качения?

Добычание огня, изобретение лука и колеса — это величайшие изобретения, сыгравшие определяющую роль в истории нашей цивилизации. Эти открытия связаны с тем, что люди научились использовать в своих целях силу упругости и силу трения за много тысячелетий до того, как стали понимать природу этих сил.

**ДОБЫЧАНИЕ ОГНЯ.** Одним из самых важных открытий в истории человечества по праву можно считать открытие способа добывать огонь. Сейчас невозможно точно определить время, когда и где это произошло, но исторические находки свидетельствуют о том, что в различных частях света люди использовали огонь уже около миллиона лет назад. Наши древние предки добывали огонь при помощи трения одного куска сухого дерева о другой, что осуществлялось вращением одной палочки по поверхности другой. В наше время сохранились племена, которые по-прежнему добывают огонь этим способом.

Позднее люди освоили ещё один способ добычания огня, также основанный на трении. Если ударять один камень о другой, высекаются искры, с помощью которых можно поджечь сухую траву или щепки. Для этих целей издревле использовался минерал пирит (в переводе с греческого «камень, высекающий огонь») и кремний. Этот способ разжигания огня лежит в основе одного из самых древних приспособлений — *огнива*. Огниво широко применялось до начала XIX в., но и в современном мире им пользуются туристы.



Первые спички появились в Древнем Китае примерно в V в. н. э. Но они использовались не для добычания огня, а для облегчения процесса его разжигания, например при помощи огнива. Деревянные палочки, покрытые серой, быстро разгорались от искры или при контакте с тлеющими угольками.

Спички, зажигаемые с помощью трения, изобрёл британский аптекарь Дж. Уокер. Спичечная головка воспламенялась от чирканья по наждачной бумаге или другой шероховатой поверхности.

Одновременно с изобретением спичек в XIX в. были созданы и первые зажигалки. Одна из первых зажигалок была сделана немецким химиком И. Дёберейнером. В 1903 г. австрийский барон К. фон Вельсбах изобрёл способ зажигания, который используется и в современных зажигалках. Зазубренное колёсико при трении о кремень высекало искру, которая поджигала пропитанный бензином фитиль. В современных зажигалках, кроме бензина, используется сжиженная смесь пропана и бутана.

**ЛУК И СРЕЛЫ.** Одним из самых древних видов метательного оружия является *лук*. Лук представляет собой дугу, концы которой соединены прочной тетивой. Когда лучник натягивает тетиву вместе со стрелой, концы лука сгибаются. Если тетиву отпустить, концы лука выпрямляются под действием силы упругости и тетива толкает стрелу вперёд. Чем с большей силой лучник натягивает тетиву, тем сильнее тетива выталкивает стрелу и тем дальше она сможет полететь. В среднем дальность полёта стрелы составляет 250 м.

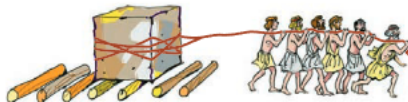
Древние люди изготавливали лук из изогнутой и упругой палки, кости или рога. Позднее появились составные луки, состоящие из нескольких частей, сделанных из разных материалов.

Дальность полёта стрелы зависит не только от конструкции лука и силы натяжения тетивы, но также и от формы стрелы. Стрелы обычно изготавливали из лёгких пород дерева, тростника или бамбука. К одному концу стрелы прикрепляется заострённый предмет (наконечник), а с другой стороны — оперение, которое уравнивает стрелу во время полёта.

Лук и стрелы использовались нашими предками для охоты или войны, сегодня стрельба из лука является одним из видов спорта.

**ИЗОБРЕТЕНИЕ КОЛЕСА.** Первые упоминания о колесе, одном из величайших изобретений человечества, датируются 4-м тысячелетием до н. э. и относятся к Месопотамии.

Предшественником колеса можно считать деревянный каток, который подкладывался под перемещаемый груз.

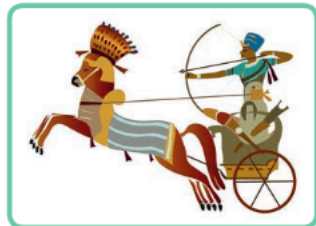


Со временем люди заметили, что каток, у которого середина тоньше, чем края, катится ровнее, его не заносит в стороны. Поэтому катки стали делать с тонкой осью, на концах которой оставались два валика. Дальнейшие усовершенствования привели к тому, что валики стали делать отдельно и скреплять с осью. Так и появилось первое *колесо*. Действие колеса основано на том, что сила трения качения существенно меньше силы трения скольжения.



Первоначально колёса были сплошными, их вырезали из дерева. В первых повозках колёса и оси вращались вместе. Это создавало большие неудобства при движении на поворотах. Позже ось стали прикреплять к повозке так, чтобы колесо свободно вращалось вокруг неё. При этом внутреннюю поверхность отверстия необходимо было делать очень гладкой, чтобы уменьшить трение между осью и отверстием.

В дальнейшем для уменьшения веса колеса в нём стали делать вырезы. А с началом открытия железа появилось колесо с металлическим ободом и спицами.



Первые резиновые шины появились после изобретения в 1839 г. способа получения резины из каучука. В 1888 г. английский ветеринар Дж. Данлоп прикрепил к колесу резиновые трубки, сделанные из планга, и накачал их воздухом. Так были созданы пневматические шины.

Открытие колеса послужило толчком для развития техники и ремёсел. Колесо стало применяться в гончарном круге, жерновах, точильных инструментах и т. д.

#### Выводы

- ! Изобретённые в глубокой древности лук и стрелы действуют на основе силы упругости.
- ! Сила трения играет огромную роль в добывании огня и использовании колеса.

#### Ключевые слова

Сила упругости; лук и стрелы; сила трения; добывание огня; изобретение колеса

#### Вопросы и задания

1. Перечислите известные вам способы добывания огня и поясните принципы их действия.
2. От чего зависят дальность стрельбы из лука и его поражающая способность?
3. Приведите примеры использования колеса в современном мире.
4. Почему в странах с холодным климатом рекомендуется менять автомобильные шины два раза в год в зависимости от сезона?

# РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ § 41

- **ЗАДАЧА 1.** На золотую статуэтку объёмом  $500 \text{ м}^3$  действует сила тяжести, равная  $49 \text{ Н}$ . Есть ли в статуэтке полость? Если есть, то определите её объём. Плотность золота  $19\,300 \text{ кг/м}^3$ .

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:  
 $V = 0,0005 \text{ м}^3$   
 $F = 49 \text{ Н}$

$$\rho = 19\,300 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$V_{\text{п}} = ?$$

Решение.  
 Масса статуэтки, если бы она была полностью сделана из золота:

$$m = \rho V; \quad m = 19\,300 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 0,0005 \text{ м}^3 = 9,65 \text{ кг}.$$

Масса золота, которое содержится в статуэтке:

$$m_a = \frac{F}{g}; \quad m_a = \frac{49}{9,8} = 5 \text{ кг}.$$

Так как  $m > m_a$ , то в статуэтке есть полость.

$$V_{\text{п}} = V - V_a; \quad V_a = \frac{m_a}{\rho}; \quad V_{\text{п}} = V - \frac{m_a}{\rho};$$

$$V_{\text{п}} = 0,0005 \text{ м}^3 - \frac{5 \text{ кг}}{19\,300 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} = 0,000241 \text{ м}^3 = 241 \text{ см}^3.$$

Ответ:  $241 \text{ см}^3$ .

- **ЗАДАЧА 2.** Один конец пружины закреплён. С какой силой нужно тянуть за другой конец пружины, чтобы растянуть её на  $3 \text{ см}$ ? Коэффициент упругости пружины равен  $350 \text{ Н/м}$ .

Запишем условие задачи и решим её.

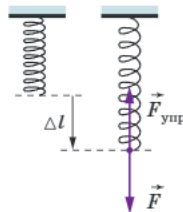
Дано:  
 $\Delta l = 0,03 \text{ м}$   
 $k = 350 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$

$$F = ?$$

Решение.  
 За пружину нужно тянуть с силой, равной по модулю силе упругости пружины.

$$F = k\Delta l;$$

$$F = 0,03 \text{ м} \cdot 350 \frac{\text{Н}}{\text{м}} = 10,5 \text{ Н}.$$



Ответ:  $10,5 \text{ Н}$ .

- **ЗАДАЧА 3.** Чему равен вес  $3 \text{ л}$  подсолнечного масла на Земле и на Луне? Плотность масла  $925 \text{ кг/м}^3$ , ускорение свободного падения на Луне  $1,6 \text{ м/с}^2$ .

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:  
 $V = 0,003 \text{ м}^3$   
 $\rho = 925 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

$$g_{\text{л}} = 1,6 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$$

$$P_{\text{з}} = ?$$

$$P_{\text{л}} = ?$$

Решение.  
 Вес тела на Земле и на Луне:  $P_{\text{з}} = mg$ ;  $P_{\text{л}} = mg_{\text{л}}$ .

Масса масла:  $m = \rho V$ .

Тогда  $P_{\text{з}} = \rho Vg$ ;  $P_{\text{л}} = \rho Vg_{\text{л}}$ .

$$P_{\text{з}} = 925 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 0,003 \text{ м}^3 \cdot 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} = 27,2 \text{ Н};$$

$$P_{\text{л}} = 925 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 0,003 \text{ м}^3 \cdot 1,6 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} = 4,4 \text{ Н}.$$

Ответ:  $27,2 \text{ Н}$ ;  $4,4 \text{ Н}$ .

- **ЗАДАЧА 4.** Два человека передвигают ящик массой 150 кг, прикладывая горизонтальные силы, направленные вдоль одной прямой. Один человек тянет за ручку спереди с силой 270 Н, другой толкает сзади с силой 220 Н. Сила трения при движении ящика по полу составляет 30 % от его веса. Смогут ли они сдвинуть ящик с места? Если да, то чему равна равнодействующая сил, действующих на ящик?

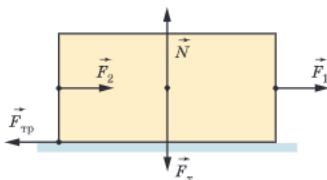
Запишем условие задачи и решим её.

$$\begin{aligned} \text{Дано:} \\ m &= 150 \text{ кг} \\ F_1 &= 270 \text{ Н} \\ F_2 &= 220 \text{ Н} \\ F_{\text{тр}} &= 0,3P \end{aligned}$$

$$F = ?$$

Решение.

Силы, действующие на ящик, изображены на рисунке.



Сила тяжести и сила реакции опоры уравнивают друг друга. Чтобы узнать, сдвинется ли ящик с места, нужно сравнить силу трения скольжения и равнодействующую сил  $F_1$  и  $F_2$ .

$$\text{Сила трения } F_{\text{тр}} = 0,3P = 0,3mg;$$

$$F_{\text{тр}} = 0,3 \cdot 150 \text{ кг} \cdot 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} = 450 \text{ Н}.$$

Так как силы  $F_1$  и  $F_2$  направлены вдоль одной прямой в одну сторону, то

$$F_{12} = F_1 + F_2; \quad F_{12} = 270 \text{ Н} + 220 \text{ Н} = 490 \text{ Н}.$$

Получилось, что  $F_{\text{тр}} < F_{12}$ , значит, ящик с места сдвинется. Равнодействующая сил, действующих на ящик:

$$F = F_{12} - F_{\text{тр}};$$

$$F = 490 \text{ Н} - 450 \text{ Н} = 40 \text{ Н}.$$

Ответ: 40 Н.

- **ЗАДАЧА 5.** Для исследования зависимости силы трения скольжения от веса на брусок, скользящий по горизонтальной поверхности, помещают грузы разной массы. По результатам опыта был построен график, представленный на рисунке. Определите, чему равен коэффициент трения.

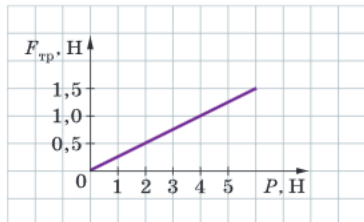
Решение.

Зависимость силы трения от веса линейная. Сила трения прямо пропорциональна силе реакции опоры, которая, в свою очередь, равна весу тела:

$$F_{\text{тр}} = \mu N = \mu P. \quad \text{Отсюда } \mu = \frac{F_{\text{тр}}}{P}.$$

Возьмём любую точку графика, например с координатами  $F_{\text{тр}} = 0,5 \text{ Н}$  и  $P = 2 \text{ Н}$ .

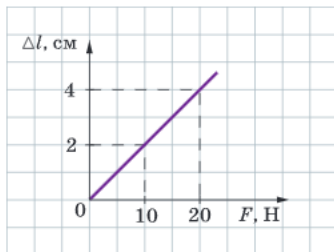
$$\text{Тогда } \mu = \frac{0,5 \text{ Н}}{2 \text{ Н}} = 0,25.$$



Ответ: 0,25.

**Задачи для самостоятельного решения**

- 1 Определите силу тяжести, действующую на тело массой: 300 г; 5 кг; 5 т.
- 2 Определите силу тяжести, действующую на деревянный брусок размерами 10 см × 15 см × 5 см. Плотность древесины примите равной 850 кг/м<sup>3</sup>.
- 3 Трос выдерживает нагрузку 35 кН. Разорвётся ли трос, если им удерживать груз массой 4 т?
- 4 На марсоход, находящийся на поверхности Земли, действует сила тяжести 3450 Н. Чему равна сила тяжести, действующая на этот марсоход на поверхности Марса? Ускорение свободного падения на Марсе 3,7 м/с<sup>2</sup>.
- 5 Длина недеформированной пружины составляет 15 см. После того как к ней подвесили груз весом 35 Н, длина пружины стала равна 25 см. Чему равен коэффициент упругости пружины?
- 6 При закрытой двери дверная пружина не растянута, и её длина составляет 50 см. При открывании двери длина дверной пружины становится равной 60 см, и в ней возникает сила упругости 5 Н. Определите длину пружины при силе упругости 7 Н.
- 7 На сколько удлинится рыболовная леска с коэффициентом упругости 0,5 кН/м при поднятии вертикально вверх рыбы массой 250 г?
- 8 По графику зависимости удлинения пружины от веса груза определите коэффициент упругости пружины. Груз какой массы нужно подвесить к пружине, чтобы она удлинилась на 7 см?
- 9 В каком случае равнодействующая трёх сил 12, 8 и 4 Н будет равна: нулю; 16 Н? Изобразите графически оба случая.
- 10 Объём бензина, израсходованного во время поездки, составил 10 л. На сколько при этом уменьшился общий вес автомобиля? (Плотность бензина примите равной 700 кг/м<sup>3</sup>.)
- 11 Брусок массой 500 г лежит на горизонтальном столе. Коэффициент трения между бруском и поверхностью стола равен 0,2. Какую минимальную силу нужно приложить к бруску, чтобы сдвинуть его с места?
- 12 Ящик весом 400 Н равномерно тянут по горизонтальной поверхности за резиновый жгут. При этом удлинение жгута составляет 30 см, коэффициент упругости жгута 200 Н/м. Чему равен коэффициент трения скольжения?



## § 42 ЛАБОРАТОРНЫЕ И ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ

### Лабораторная работа № 6

#### Градировка динамометра. Исследование зависимости силы упругости от удлинения пружины. Определение коэффициента упругости пружины

##### Цель работы

Провести градуировку динамометра и измерить с его помощью вес тела. Исследовать зависимость силы упругости от удлинения пружины и определить коэффициент упругости пружины.

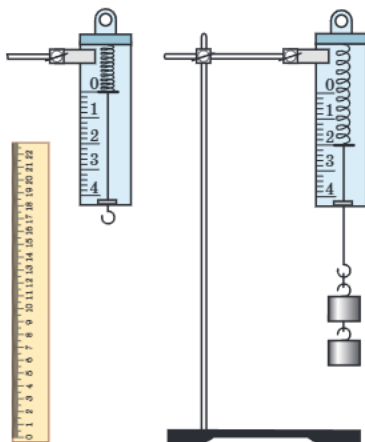
##### Оборудование и материалы

Набор грузов по механике, динамометр лабораторный, штатив с держателем, линейка; небольшие грузы.

##### Ход работы

#### Задание 1. Градуировка динамометра

- С помощью скотча закройте листом бумаги шкалу лабораторного динамометра и закрепите его вертикально в лапке лабораторного штатива. Отметьте чертой положение указателя при нерастянутой пружине и поставьте возле неё отметку «0». Это будет нулевая отметка шкалы.
- Так как сила тяжести, действующая на тело массой 1 кг, равна 9,8 Н, то сила, равная 1 Н, будет действовать на тело, которое в 9,8 раза легче. Масса этого тела 102 г. Этим телом может являться груз массой 100 г с колечком из проволоки, масса которого приблизительно равна 2 г. Из набора грузов выберите груз массой 100 г и подвесьте его к динамометру. Под действием силы тяжести, действующей на груз и равной 1 Н, пружина растягивается, и указатель опускается вниз. Отметьте чертой новое положение указателя динамометра.
- Последовательно подвешивайте к динамометру два, три, четыре груза массой по 100 г каждый и всякий раз отмечайте новое положение указателя динамометра.
- Сняв динамометр со штатива, поставьте по порядку значения 1, 2, 3, 4 Н возле каждой отметки.
- С помощью линейки проградуйте шкалу динамометра так, чтобы цена деления была равна 0,1 Н. Для этого каждое полученное деление нужно разделить на 10 равных частей. Это возможно сделать в соответствии с законом Гука, из которого следует, что сила упругости пружины увеличивается во столько раз, во сколько раз увеличивается её удлинение. (Такая зависимость называется *линейной*.)



- С помощью динамометра измерьте вес небольших грузов, подобранных для лабораторной работы.
- Результаты измерений занесите в таблицу в своей тетради.

Исследуемое тело	Вес тела, Н

- Сделайте вывод.

**Задание 2. Исследование зависимости силы упругости от удлинения пружины**

- С помощью линейки определите расстояние между делениями динамометра: 0 и 1; 0 и 2; 0 и 3; 0 и 4 (удлинение пружины  $\Delta l$ ).
- Вычислите значение коэффициента упругости пружины динамометра для каждого опыта по формуле  $k = F/\Delta l$ .

Номер опыта	Сила упругости $F$ , Н	Удлинение пружины $\Delta l$ , м	Коэффициент упругости $k$ , Н/м

- Вычислите среднее значение  $k_{\text{ср}}$  коэффициента упругости.
- Выбрав подходящий масштаб, постройте график зависимости силы упругости от удлинения пружины:  $F = k_{\text{ср}} \Delta l$ .
- Отметьте на графике точки, соответствующие значениям силы  $F$  и удлинения пружины  $\Delta l$  в проведённых опытах. Как расположены эти точки относительно линии графика?
- Сделайте вывод.

**Лабораторная работа № 7**

**Исследование силы трения скольжения.  
Определение коэффициента трения скольжения**

**Цель работы**

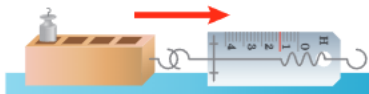
Изучить зависимость силы трения скольжения от силы реакции опоры, измерить коэффициент трения скольжения дерева по дереву.

**Оборудование и материалы**

Динамометр, набор грузов, деревянный брусок, деревянная поверхность (доска).

**Ход работы**

- С помощью динамометра измерьте вес  $P$  деревянного бруска.
- Положите брусок на горизонтальную деревянную поверхность и поместите на него груз массой 100 г.
- Прицепите к бруску крючок динамометра и с помощью динамометра приведите брусок в прямолинейное равномерное движение. Зафиксируйте показания динамометра при движении. Динамометр показывает силу, действующую на брусок, которая по модулю равна силе трения скольжения  $F_{\text{тр}}$ .



- Результаты измерений занесите в таблицу в своей тетради.

Номер опыта	Вес бруска $P$ , Н	Вес грузов $P_{гр}$ , Н	Сила реакции опоры $N$ , Н	Сила трения скольжения $F_{тр}$ , Н	Коэффициент трения $\mu$

- Повторите опыты по измерению силы трения скольжения, поставив на брусок дополнительные 2—3 груза.
- Сделайте рисунок, обозначив на нём все силы, действующие на брусок.
- Вычислите силу реакции опоры  $N$ , действующую на брусок в каждом случае:  $N = P + P_{гр}$ , где  $P_{гр}$  — вес грузов.
- Вычислите коэффициент трения скольжения  $\mu$  для каждого случая.
- Выбрав подходящий масштаб, нарисуйте оси координат и отметьте точки, соответствующие значениям силы трения  $F_{тр}$  и силы реакции опоры  $N$  в проведённых опытах. Проведите прямую линию через поставленные экспериментальные точки. Если точки не лежат на одной прямой, проведите прямую линию вблизи этих точек. Полученная линия — это график зависимости силы трения скольжения от силы реакции опоры.
- Выбрав на графике произвольную точку, вычислите среднее значение коэффициента трения скольжения  $\mu_{ср}$ .
- Найдите табличное значение коэффициента трения скольжения дерева по дереву и сравните его с полученным вами в лабораторной работе.
- Сделайте вывод.

## Практические работы-исследования

### Изучаем силы

При решении инженерных задач огромное значение имеет понимание результата и точный расчёт действия всех сил, участвующих в том или ином физическом процессе, а также при создании инженерной конструкции или технического прибора.

### РАВНОДЕЙСТВУЮЩАЯ НЕСКОЛЬКИХ СИЛ, НАПРАВЛЕННЫХ ВДОЛЬ ОДНОЙ ПРЯМОЙ

Начнём изучение равнодействующей силы со случая, когда все силы направлены вдоль одной прямой.

#### Цель работы

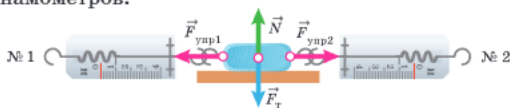
Установить зависимость между силами упругости, направленными вдоль одной прямой; найти равнодействующую нескольких сил.

#### ПОМОЩНИК

- В качестве оборудования можно использовать набор одинаковых динамометров, малое тело (например, ластик), булавки, гладкий стол, тонкую палочку.
- Воткните в ластик две булавки, снабжённые крючками, и положите его на гладкий стол. Прикрепите посредством булавок крючки динамометров № 1 и 2 к исследуемому телу согласно рисунку.

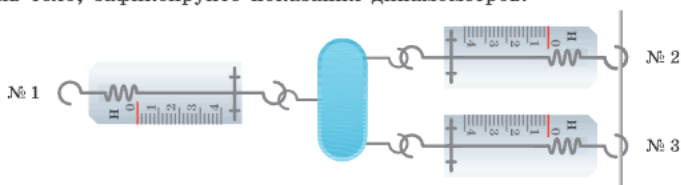


- Придерживая рукой динамометр № 1, переместите динамометр № 2 на некоторое расстояние вдоль прямой, соединяющей динамометры. Зафиксируйте показания динамометров.



На рисунке:  $\vec{F}_T$  — сила тяжести, действующая на тело;  $\vec{N}$  — сила реакции опоры;  $\vec{F}_{упр1}$  и  $\vec{F}_{упр2}$  — силы упругости, действующие на тело со стороны пружин динамометров. Так как тело находится в равновесии, то  $F_T = N$ ;  $F_{упр1} = F_{упр2}$ . При этом мы считаем, что силы трения пренебрежимо малы.

- Прикрепите к динамометру № 2 последовательно динамометр № 3 и повторите измерения.
- Прикрепите к динамометру № 3 последовательно динамометр № 4 и повторите измерения.
- Объясните полученные результаты и сделайте выводы.
- Измените способ соединения динамометров № 2 и 3 с телом согласно рисунку. Придерживая динамометр № 1 рукой, с помощью карандаша или тонкой палочки сместите на некоторое расстояние динамометры № 2 и 3. Уравновесив тело, зафиксируйте показания динамометров.



- Сделайте выводы.

### ИЗУЧЕНИЕ УПРУГИХ СВОЙСТВ ПРУЖИНЫ, ОБЛАДАЮЩЕЙ МАЛЫМ ЗНАЧЕНИЕМ КОЭФФИЦИЕНТА УПРУГОСТИ

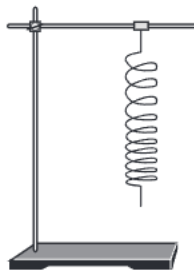
Пружина школьного лабораторного динамометра (динамометра Бакушинского) обладает сравнительно большой жёсткостью и мало деформируется под действием собственного веса. Иная картина наблюдается для пружины, изготовленной из проволоки, обладающей малой жёсткостью. Такая пружина заметно растягивается под действием собственного веса. Поэтому обычные методы, используемые для градуировки динамометра и определения коэффициента жёсткости пружины, в этом случае неприменимы.

#### Цель работы

Опытным путём определить коэффициент жёсткости мягкой пружины и исследовать зависимость коэффициента жёсткости от числа витков пружины.

#### ПОМОЩНИК

- В качестве оборудования можно использовать набор пружин, изготовленных из мягкой и тонкой проволоки, лабораторные весы, линейку с миллиметровыми делениями, штатив.
- Для изготовления пружин рекомендуется использовать медную проволоку диаметром порядка 0,2–0,3 мм.



- Подвешивая пружину одним концом к лапке штатива, установите, как зависит удлинение пружины от числа её витков. Опыты проведите для пружин, содержащих несколько десятков витков.
- Сила натяжения в данном конкретном витке пружины равна суммарному весу всех витков, расположенных ниже. Сила натяжения в витке, закреплённом в лапке штатива, равна, очевидно, весу всей пружины.
- Если между физическими величинами существует пропорциональная зависимость, то можно использовать среднее значение физической величины. Это означает, что удлинение пружины будет таким же, как под действием средней силы тяжести  $\frac{F_1}{2}$ , одинаковой во всех сечениях пружины. Другими словами, растяжение реальной массовой пружины будет таким же, как и растяжение безмассовой пружины под действием грузика, масса которого равна половине массы исследуемой пружины.
- С учётом сказанного получите оценку коэффициента жёсткости пружины.
- Укоротите пружину вдвое и сделайте аналогичные опыты для укороченной пружины.
- Получите оценку коэффициента жёсткости укороченной пружины.
- Сделайте выводы.

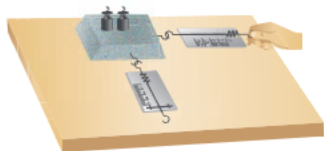
### СУХОЕ ТРЕНИЕ!

На уроке учитель физики объяснял учащимся особенности проявления сил сухого и вязкого (жидкого) трения и отметил, что вязкое трение существенно меньше сухого. В качестве иллюстрации он привёл пример движения автомобиля по скользкой дороге. Даже если дорога ровная, то опытные водители стараются по возможности избежать торможения. Как объяснил ребятам учитель, при торможении блокируются колёса, и в этой ситуации достаточно незначительного бокового воздействия на колёса, чтобы автомобиль ушёл в занос. Ученики Петя и Саша спросили, возможно ли подобное явление в случае сухого трения. Учитель ответил, что он как раз планировал поручить ребятам проверить это экспериментально.

Проделайте и вы необходимые измерения.

#### **ПОМОЩНИК**

- В качестве оборудования вам потребуются брусок, набор разновесов, два динамометра, булавки, нить, линейка.
- С помощью булавок и нитей прикрепите к бруску два динамометра: один к торцу, другой к центру боковой грани.
- На столе закрепите лист плотной бумаги или картона. На листе с помощью карандаша и линейки проведите прямую линию, вдоль которой следует перемещать брусок.
- Посредством динамометра, прикреплённого к торцу, медленно и без рывков перемещайте брусок вдоль отмеченной линии.
- Зафиксируйте показания  $F_1$  динамометра.
- Определите минимальную силу  $F_2$ , с которой нужно подействовать на брусок сбоку, чтобы он начал смещаться в направлении, перпендикулярном направлению первоначального движения.
- Повторите опыт 5–6 раз, постепенно нагружая брусок разновесами.



- Результаты измерений занесите в таблицу в своей тетради.

Масса грузиков	$m_1$ , г	$m_2$ , г	$m_3$ , г	$m_4$ , г	$m_5$ , г
$F_1$ , Н					
$F_2$ , Н					

- Сделайте выводы. Зависят ли полученные результаты от скорости движения бруска?

## ПОДВЕДЁМ ИТОГИ

- Результат действия силы на тело зависит от её модуля, направления и точки приложения.
- Всемирное тяготение — это притяжение всех тел Вселенной друг к другу.
- Сила, которая производит на тело такое же действие, как несколько одновременно действующих сил, называется равнодействующей этих сил.
- Сила упругости — это сила, возникающая при деформации тела, стремящаяся вернуть его в первоначальное состояние.
- Закон Гука: для упругих деформаций модуль силы упругости при растяжении (или сжатии) тела прямо пропорционален деформации этого тела.
- Сила, с которой тело действует на опору или подвес, называется весом тела.
- Сила, возникающая между поверхностями соприкасающихся тел и препятствующая их относительному перемещению, называется силой трения.

## Вопросы для обсуждения

- ❓ Как показывают опыты, силы, с которыми тела действуют друг на друга, всегда равны по значению и направлены противоположно. Можно ли говорить в этом случае, что равнодействующая этих сил равна нулю?
- ❓ Для получения тонкой проволоки её несколько раз протягивают через ряд отверстий с уменьшающимся диаметром. Какие виды деформации испытывает при этом проволока?
- ❓ Гирию массой 1 кг взвешивают на пружинных и рычажных весах сначала на Земле, а затем на Луне. Одинаковы ли будут показания весов? Можно ли гирию взвесить на орбитальной космической станции?
- ❓ Почему мокрая газета рвётся значительно легче, чем сухая?

## Темы исследовательских и проектных работ

- Как открыли силу тяжести.
- Сила тяжести на космических объектах.
- Всемирное тяготение.
- Равновесие в природе и в технике.
- Интересные конструкции мостов.
- Деформации в технике.
- Как добиться невесомости.

## Ответы к задачам для самостоятельного решения

### Глава 1

- 49 см; 440 м.
- $\approx 0,1$  мм.
- $3,6 \cdot 10^9$  мкс;  $3,6 \cdot 10^{12}$  нс.
- $\approx 398$ .
- 9.
- 2.
- $\approx 1,9 \cdot 10^3$ .
- 11 мл  $< V < 13$  мл.

### Глава 2

- $3,4 \cdot 10^{25}$ ; число молекул в 1 л воды в  $\approx 1,3$  раза больше.
- В 10 мл воды; на 1 порядок.
- 500.
- $\approx 2 \cdot 10^{18}$ .
- 2,5 нм.

### Глава 3 § 25

- 38 км/ч; 32 м/с.
- $\approx 3,3$  м/с; 5 км.
- 50 км/ч;  $\approx 83,3$  км/ч; 70 км/ч.
- $\approx 66,7$  км/ч.
- $\approx 0,08$  м/с<sup>2</sup>.
- $\approx 0,08$  м/с;  $\approx 0,33$  м/с;  
 $\approx 0,06$  м/с; 0,5 м/с;  $\approx 0,17$  м/с;  
 $\approx 0,17$  м/с.

### Глава 3 § 29

- 5.
- 3 см<sup>3</sup> золота.
- 2700 кг/м<sup>3</sup>; алюминий.
- 2500 кг/м<sup>3</sup>.
- $\approx 3310$  кг/м<sup>3</sup>.
- 0,12 м<sup>3</sup>.
- $\approx 7800$  кг/м<sup>3</sup>; 12,8 см<sup>3</sup>.

### Глава 4

- 3 Н; 50 Н; 50 кН.
- $\approx 6,4$  Н.
- Да.
- $\approx 1303$  Н.
- 350 Н/м.
- 64 см.
- 5 мм.
- 500 Н/м; 3,5 кг.
- 70 Н.
- 1 Н.
- 0,15.