



# А

Российская академия наук  
Российская академия образования  
Издательство «Просвещение»

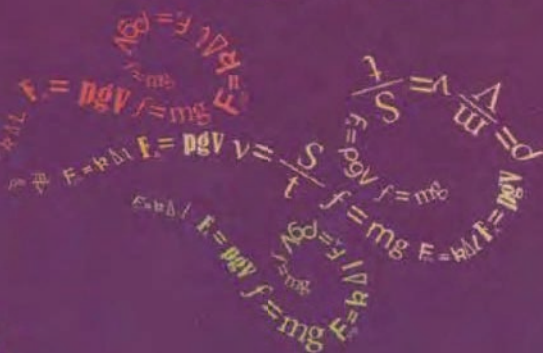
Академический школьный учебник

# ФИЗИКА

С Ф Е Р Ы

В. В. Белага  
И. А. Ломаченков  
Ю. А. Панебратцев

## ФИЗИКА



ПРОСВЕЩЕНИЕ  
ИЗДАТЕЛЬСТВО





УДК 373.167.1:53  
ББК 22.3я72  
Б43

*Серия «Академический школьный учебник» основана в 2005 году*

Проект «Российская академия наук, Российская академия образования,  
издательство «Просвещение» — российской школе»

Руководители проекта:  
вице-президент РАН акад. **В. В. Козлов**,  
президент РАО акад. **Н. Д. Никандров**,  
чл.-корр. РАО, д-р пед. наук **А. М. Кондаков**

Научные редакторы серии:  
акад. РАО, д-р пед. наук **А. А. Кузнецов**,  
акад. РАО, д-р пед. наук **М. В. Рыжаков**, д-р экон. наук **С. В. Сидоренко**

*Серия учебно-методических комплексов «Сферы» основана в 2003 году*

Руководители проекта:  
чл.-корр. РАО, д-р геогр. наук **В. П. Дронов**,  
чл.-корр. РАО, д-р пед. наук **А. М. Кондаков**

На учебник получены положительные заключения Российской академии наук  
(№ 10106-5215/7 от 29.09.11) и Российской академии образования (№ 01-5/7д-329  
от 17.10.11)

**Белага В. В.**

**Б43** Физика. 7 класс : учеб. для общеобразоват. учреждений с прил. на электрон. носителе / В. В. Белага, И. А. Ломаченков, Ю. А. Панебратцев; Рос. акад. наук, Рос. акад. образования, изд-во «Просвещение». — М. : Просвещение, 2013. — 144 с. : ил. — (Академический школьный учебник (Сферы). — ISBN 978-5-09-022267-9.

Данный учебник начинает линию учебно-методических комплексов «Сферы» по физике. Издание подготовлено в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом основного общего образования и освещает вопросы курса физики для основной школы. Материал учебника направлен на формирование первых научных представлений о физических законах и явлениях и основывается на достижениях современной физики и техники. Главными особенностями данного учебника являются фиксированный в тематических разделах формат, лаконичность и жёсткая структурированность текста, разнообразный иллюстративный ряд. Использование электронного приложения к учебнику позволит значительно расширить информацию (текстовую и визуальную) и научиться применять её при решении разнообразных физических задач и подготовке творческих работ.

УДК 373.167.1:53  
ББК 22.3я72

ISBN 978-5-09-022267-9

© Издательство «Просвещение», 2013  
Художественное оформление.  
© Издательство «Просвещение», 2013  
Все права защищены



# СОДЕРЖАНИЕ

Введение ..... 5

## I. ФИЗИКА И МИР, В КОТОРОМ МЫ ЖИВЁМ

- 1. Что изучает физика ..... 8
- 2. Некоторые физические термины ..... 10
- 3. Наблюдение и опыт ..... 12
- 4. Физические величины и их измерение ..... 14
- 5. Измерение и точность измерения ..... 16
- 6. Человек и окружающий его мир ..... 18
- Подведём итоги ..... 20

## II. СТРОЕНИЕ ВЕЩЕСТВА

- 7. Строение вещества ..... 22
- 8. Молекулы и атомы ..... 24
- 9. Броуновское движение. Диффузия ..... 26
- 10. Взаимное притяжение и отталкивание молекул ..... 28
- 11. Смачивание и капиллярность ..... 30
- 12. Агрегатные состояния вещества ..... 32
- Подведём итоги ..... 34

## III. ДВИЖЕНИЕ, ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ, МАССА

- 13. Механическое движение ..... 36
- 14. Скорость ..... 38
- 15. Средняя скорость. Ускорение ..... 40
- 16. Инерция ..... 42
- 17. Взаимодействие тел и масса ..... 44
- 18. Плотность и масса ..... 46
- Решение задач ..... 48
- Подведём итоги ..... 50

## IV. СИЛЫ ВОКРУГ НАС

- 19. Сила ..... 52
- 20. Сила тяжести ..... 54
- 21. Равнодействующая сила ..... 56
- 22. Сила упругости ..... 58
- 23. Закон Гука. Динамометр ..... 60
- 24. Вес тела. Невесомость ..... 62
- 25. Сила трения ..... 64
- 26. Трение в природе и технике ..... 66
- Подведём итоги ..... 68

## V. ДАВЛЕНИЕ ТВЁРДЫХ ТЕЛ, ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

- 27. Давление ..... 70
- 28. Способы увеличения и уменьшения давления ..... 72
- 29. Природа давления газов и жидкостей ..... 74
- 30. Давление в жидкости и газе. Закон Паскаля ..... 76
- 31. Расчёт давления жидкости на дно и стенки сосуда ..... 78
- 32. Сообщающиеся сосуды ..... 80





33. Использование давления в технических устройствах .....	82
Подведём итоги .....	86

#### VI. АТМОСФЕРА И АТМОСФЕРНОЕ ДАВЛЕНИЕ

34. Вес воздуха. Атмосферное давление .....	88
35. Измерение атмосферного давления. Опыт Торричелли .....	90
36. Приборы для измерения давления .....	92
Подведём итоги .....	94

#### VII. ЗАКОН АРХИМЕДА. ПЛАВАНИЕ ТЕЛ

37. Действие жидкости и газа на погружённое в них тело .....	96
38. Закон Архимеда .....	98
39. Плавание тел. Воздухоплавание .....	100
Решение задач .....	102
Подведём итоги .....	104

#### VIII. РАБОТА, МОЩНОСТЬ, ЭНЕРГИЯ

40. Механическая работа .....	106
41. Мощность .....	108
42. Энергия .....	110
43. Потенциальная и кинетическая энергия .....	112
44. Закон сохранения механической энергии .....	114
45. Источники энергии .....	116
46. Невозможность создания вечного двигателя .....	118
Подведём итоги .....	120

#### IX. ПРОСТЫЕ МЕХАНИЗМЫ. «ЗОЛОТОЕ ПРАВИЛО» МЕХАНИКИ

47. Рычаг и наклонная плоскость .....	122
48. Блок и система блоков .....	124
49. «Золотое правило» механики .....	126
50. Коэффициент полезного действия .....	128
Решение задач .....	130
Подведём итоги .....	132

Имена в истории физики .....	133
Заключение .....	139
Предметно-тематический указатель .....	140



## ВВЕДЕНИЕ

Дорогие ребята! Сегодня вы начинаете изучать новый предмет — физику. Слово «физика» происходит от греческого слова *physis* — природа.

С древних времён люди пытались понять: как и почему происходят различные природные явления; как летают птицы и почему они не падают; как может дерево плыть по воде и почему оно не тонет. Такие природные явления, как гром и молния, солнечное и лунное затмения, пугали людей, пока учёные не выяснили, как и почему они возникают.

Изучая физику, вы тоже сможете объяснить многие явления, которые происходят вокруг.

Физика изучает простейшие и вместе с тем общие закономерности явлений природы. Понятия физики и её законы лежат в основе всего естествознания.

Знания по физике будут вам необходимы при изучении многих предметов и помогут глубже понять процессы, которые изучает география, биология, химия.

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.

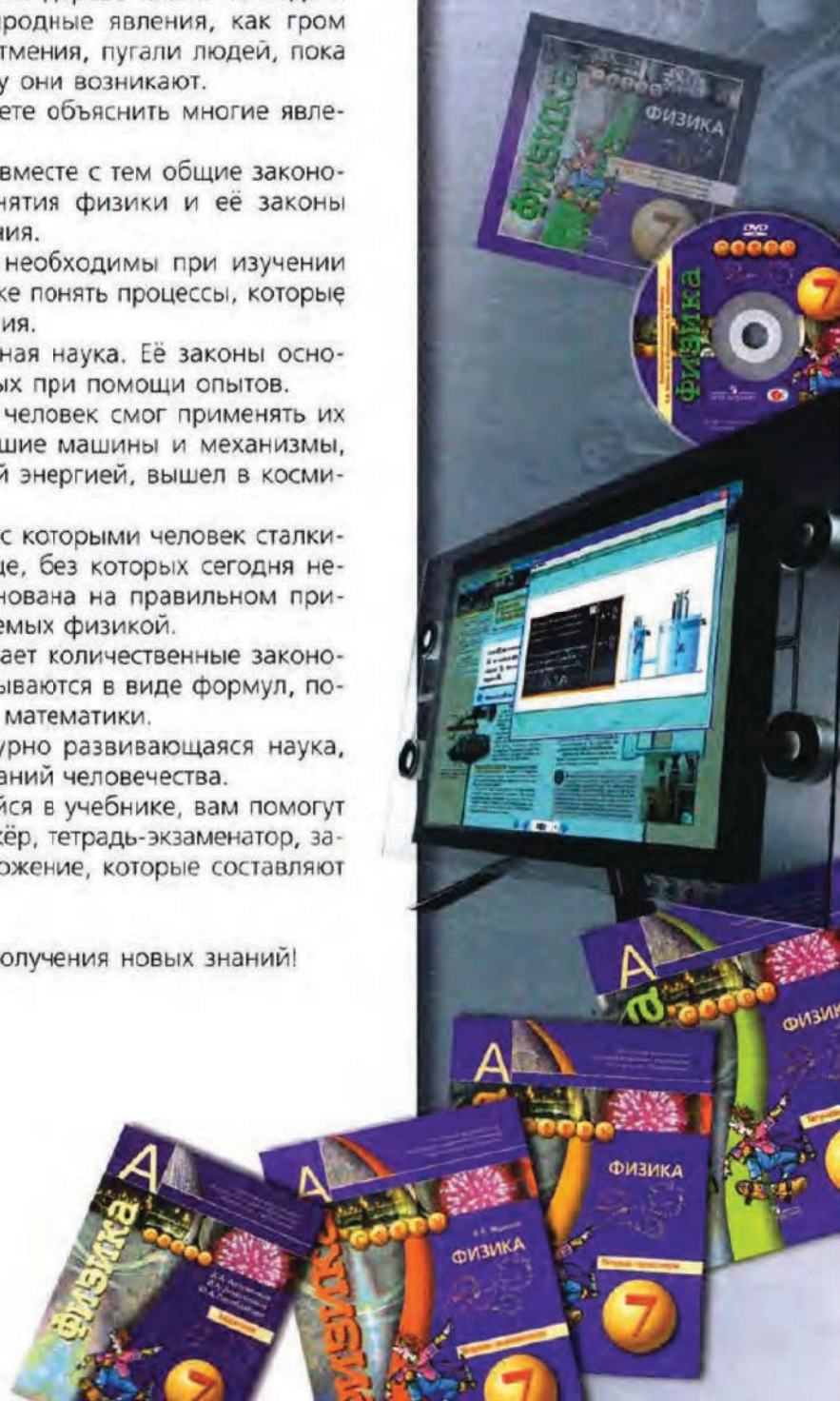
Работа технических устройств, с которыми человек сталкивается дома, на работе и на улице, без которых сегодня немыслима жизнь человечества, основана на правильном применении законов природы, изучаемых физикой.

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.

Усвоить материал, содержащийся в учебнике, вам помогут тетрадь-практикум, тетрадь-тренажёр, тетрадь-экзаменатор, задачник, а также электронное приложение, которые составляют единый комплект.

Желаем вам успехов на пути получения новых знаний!





Физический  
блокнот

МОИ ФИЗИЧЕСКИЕ  
ИССЛЕДОВАНИЯ

В ФОКУСЕ

Физический калейдоскоп

ВНИМАНИЕ!

## РАБОТАЕМ С УЧЕБНИКОМ

Материал учебника включает девять тем, каждая из которых разделена на параграфы. Перед каждой темой в рубрике «Коротко о главном...» приводится высказывание одного из великих учёных, которое отражает суть содержания темы.

Параграф начинается с вводных рубрик «Вы узнаете...», «Вспомните...». Рубрика «Вы узнаете...» познакомит вас с основными вопросами, которые изучаются в параграфе. Рубрика «Вспомните...» подскажет, что необходимо вспомнить из ранее изученного материала, для того чтобы усвоить новый.

Основной текст параграфа сопровождается рубриками, которые помогут вам глубже понять наиболее важный материал.

Рубрика «Мои физические исследования» поможет вам научиться проводить физические опыты, иллюстрирующие физические законы.

В рубрике «Физический блокнот» содержатся интересные сведения и дополнительная информация к основному тексту параграфа.

Рубрика «В фокусе» заостряет внимание на наиболее важной идее параграфа.

Рубрика «Физический калейдоскоп» иллюстрирует текст параграфа примерами из жизни и техники.

Рубрика «Внимание» содержит формулировки физических законов и формулы, необходимые для запоминания.

Информация о традиционном эксперименте, на основе которого строится объяснение материала параграфа, отделена от основного текста знаком «Демонстрационный опыт».

Графический элемент в виде лупы акцентирует ваше внимание на внутреннем содержании рисунка, детализирует изображение физического явления или процесса.

В темах, в которых необходимо более подробно рассмотреть решение физических задач, есть раздел «Решение задач».

В параграфе также размещены ссылки в виде стрелок. Они показывают, что изучение данного материала невозможно без использования задачника или тетради-практикума.

На последней странице каждой главы даны рубрики «Подведём итоги», «Вопросы для обсуждения», ссылки

на дополнительные информационные источники и обобщающие схемы, позволяющие представить материал главы в единстве и взаимосвязи в лаконичной схематичной форме.

В рубрике «Подведём итоги» приводятся основные выводы и идеи, содержащиеся в главе.

Вопросы, которые приводятся в рубрике «Вопросы для обсуждения», носят проблемный характер и могут стать интересной темой для дискуссии.

Ссылки на интернет-ресурсы и литературу позволяют привлечь дополнительные источники информации при изучении темы.



# ФИЗИКА И МИР, В КОТОРОМ МЫ ЖИВЁМ

- ЧТО ИЗУЧАЕТ ФИЗИКА
- НЕКОТОРЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ТЕРМИНЫ
- НАБЛЮДЕНИЕ И ОПЫТ
- ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ И ИХ ИЗМЕРЕНИЕ
- ИЗМЕРЕНИЕ И ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ
- ЧЕЛОВЕК И ОКРУЖАЮЩИЙ ЕГО МИР



## КОРОТКО О ГЛАВНОМ...

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

*Галилео Галилей*



## ЧТО ИЗУЧАЕТ ФИЗИКА

### ВЫ УЗНАЕТЕ:

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

### ВСПОМНИТЕ:

- Какие науки о природе вам известны?



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

Учёный-естествоиспытатель, первый российский академик Петербургской академии наук; реформатор русского языка, поэт, художник.

По словам А. С. Пушкина: «Он создал первый университет, он, лучше сказать, сам был первым нашим университетом».



**Аристотель**  
(384—322 гг. до н. э.)

Великий древнегреческий мыслитель. В своих трудах обобщил достижения, связанные с существующими в то время представлениями о картине мира.

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?

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

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 течёт по сосудам кровь, если рукой в темноте гладить кота, 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., называют *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**».



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

Изучив данный курс, вы получите представление о многих очень важных законах физики и усвоите то, что нужно любому современному человеку, кем бы он ни работал.

## ФИЗИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

### Механические



### Тепловые



### Электромагнитные



### Световые



## ПРИМЕРЫ ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ



## ВОПРОСЫ:

- Что такое физика?
- Какую роль играет физика в познании окружающих явлений?



**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

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

**ВСПОМНИТЕ:**

- 🟢 Что изучает физика?

**НЕКОТОРЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ТЕРМИНЫ**

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 эти образы со словами, обозначающими эти предметы. И только потом он начинает узнавать и использовать различные понятия.

**НАУЧНЫЕ ТЕРМИНЫ** Понятиями принято называть обобщения разных предметов и явлений по определённым признакам. 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 и 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 них 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.

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.





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.

**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 уже достоверно известно, что вещество в окружающем нас мире состоит из атомов. Атомов различных видов всего около 100, но они могут объединяться, образуя огромное множество разнообразных молекул, которые, в свою очередь, являются мельчайшими частицами вещества. Атомы современная наука уже не считает неделимыми, они сами состоят из более мелких составляющих — электронов и ядер, а ядра — из протонов и нейтронов.

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)

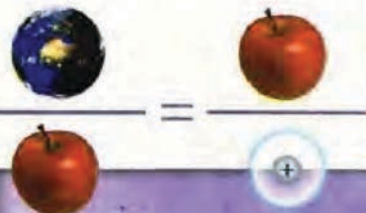
**МАТЕРИЯ** Всё то, что существует во Вселенной независимо от нашего сознания, называют **материей**. Материя является более общим понятием, чем вещество. Материальны, т. е. действительно существуют в природе, растения, животные, планеты, различные предметы. Вещество — это один из видов материи. Примерами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



**Демокрит**  
(V в. до н. э.)

Древнегреческий философ-материалист, один из первых представителей учения о том, что материя состоит из чрезвычайно малых частиц.

На сегодняшний день известно около ста различных атомов, из которых состоит вся наша Вселенная. Атомы настолько малы, что их невозможно увидеть невооружённым глазом. В зависимости от того, атомы какого вида и в каких соотношениях входят в состав вещества, это вещество будет обладать 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.



#### ВОПРОСЫ:

- Какие новые физические термины вы узнали из этого урока?
- Что называют веществом?
- Из чего состоит вещество?



**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

- 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.

**ВСПОМНИТЕ:**

- Какие явления изучает физика?

**НАБЛЮДЕНИЕ И ОПЫТ**

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

**РОЛЬ НАБЛЮДЕНИЯ В НАШЕЙ ЖИЗНИ** Начальные знания об окружающем мире мы получаем из наблюдений за явлениями. Но сами по себе наблюдения не могли привести к построению физической картины мира, хотя и сыграли огромную роль, прежде всего в астрономии.

**ПОЛУЧЕНИЕ НОВЫХ ЗНАНИЙ** 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 специальные **опыты**, которые также называют **экспериментами**. Во время опытов обычно производят измерения. Опыт предполагает наличие цели, плана действий и специального оборудования.



Наблюдая за исчезающими, 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 *Фернандо Магеллан*. Космические снимки Земли ещё раз наглядно подтвердили правильность этой гипотезы.

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

наблюдение → гипотеза → эксперимент → вывод

наблюдение



гипотеза



эксперимент



вывод





**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 не известные явления.

В любом случае, для того чтобы знания о физическом явлении стали законом, требуется экспериментальная проверка. Именно поэтому физику называют экспериментальной наукой.

**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.



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. Также известны часы в виде свечей, на которых делались временные засечки, исчезающие по мере сгорания свечи. В наше время часы представляют собой более сложные и точные механизмы и бывают кварцевые, механические, электронные и пр.



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.



#### ВОПРОСЫ:

- Что является источником получения знаний об окружающем нас мире?
- Чем отличается наблюдение от эксперимента?
- Что такое гипотеза?
- Для чего нужны измерительные приборы?



## ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ И ИХ ИЗМЕРЕНИЕ

### ВЫ УЗНАЕТЕ:

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

### ВСПОМНИТЕ:

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

Все физические тела обладают набором определённых свойств. Все физические явления протекают во времени. Задача физики — понять причины тех или иных физических явлений и описать их.

**ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ** Для описания какого-либо свойства физического тела и 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.



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.

**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**. Что же в этом случае означает измерить физическую величину?

**Измерение** физической величины — это сравнение её с **эталоном**. Уже более двух веков все страны мира стремятся использовать одинаковые эталоны для измерения основных физических величин. Для этого и была создана **Международная система единиц СИ** (система интернациональная).

### Единицы СИ

Единица длины	—	Метр (1 м)
Единица времени	—	Секунда (1 с)
Единица массы	—	Килограмм (1 кг)

Если сравнивать длину какого-либо тела с эталоном метра, мы получим длину, **выраженную в метрах**.



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 — размерам, которые можно показать рукой.



**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 метрам. При этом в названии «километр» появилась приставка «кило», которая и определяет, насколько 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: единица в тысячу раз меньше метра называется **миллиметр**, в миллион раз меньше метра — **микромметр** или кратко — **микрон**, в миллиард раз меньше метра — **наномметр**.

### ДЕЙСТВИЯ НАД ФИЗИЧЕСКИМИ

**ВЕЛИЧИНАМИ** Нельзя напрямую сравнивать две физические величины, выраженные в разных единицах.

Например, расстояние между школой и домом одного ученика равно 1 километру, а расстояние от школы до дома другого ученика — 1100 метров. Как понять, кто живёт дальше от школы?

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

$$1 \text{ км} = 1000 \text{ м};$$

$$1000 \text{ м} < 1100 \text{ м}.$$

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.

Таблица перевода различных единиц измерения длины в метры

Название приставки	Название единицы, кратной или дольной метру	Множитель
милли (м)	миллиметр (мм)	0,001
санти (с)	сантиметр (см)	0,01
деци (д)	дециметр (дм)	0,1
кило (к)	километр (км)	1000



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

**метр** — это одна сорокамиллионная часть длины Парижского меридиана *а*;

**килограмм** — это масса кубика воды объёмом 1000 кубических сантиметров *б*;

**секунда** — это 1/86 400 часть времени обращения Земли вокруг своей оси *в*.

Однако во второй половине XX в. достижения физики позволили ввести более совершенные эталоны метра и секунды. Так, в 1983 г. за эталон метра был принят путь, проходимый светом в пустоте за 1/299 792 458 долю секунды.

### ВОПРОСЫ:

- Является ли длина физической величиной? Поясните ответ.
- Является ли деревянная линейка длиной 1 метр эталоном 1 метра? Поясните свой ответ.
- В каких случаях удобнее использовать кратные и дольные единицы?



**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

- Что такое шкала измерительного прибора.
- Что такое цена деления шкалы.
- Какие проблемы возникают при измерениях.
- Что влияет на точность измерения.
- Что такое среднее значение измерений.

**ВСПОМНИТЕ:**

- Что такое измерительные приборы?



## ИЗМЕРЕНИЕ И ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ

Если нам необходимо измерить какую-либо физическую величину, мы используем для этого соответствующие измерительные приборы.

**ШКАЛА ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРИБОРА** На шкалах измерительных приборов нанесены штрихи, некоторые из которых подписаны определёнными значениями. Между соседними подписанными штрихами может находиться несколько неподписанных штрихов поменьше. 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 того чтобы определить цену деления шкалы прибора, необходимо найти разность двух соседних значений физической величины, которые указаны на приборе, и разделить 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

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



**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 измеряемая величина лежит между штрихами шкалы прибора. В этом случае погрешность не может быть больше цены деления. При этом, даже если нам кажется, что длина предмета 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**.

Для записи величин с учётом погрешности измерения используют следующую формулу:

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

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





Часто нам приходится измерять величины, значения которых больше максимального значения, указанного на шкале измерительного прибора, с которым мы работаем.

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

Очевидно, что многократные измерения и нахождение их среднего значения дадут более точный результат измерения.

**НАЗНАЧЕНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ** Выполняя измерения, 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 *а*, для измерения температуры тела — другим *б*, для измерения температуры воды — третьим *в*.



Среднее значение для двух измерений рассчитывают по формуле

$$\text{среднее значение} = \frac{\text{измерение 1} + \text{измерение 2}}{2}$$

## МОИ ФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

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.

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.

## ВОПРОСЫ:

- 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?
- Как определить среднее значение при нескольких измерениях?



## ЧЕЛОВЕК И ОКРУЖАЮЩИЙ ЕГО МИР

### ВЫ УЗНАЕТЕ:

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

### ВСПОМНИТЕ:

- Что такое физическое тело?
- Что такое единицы измерения?

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.

**ПРОСТРАНСТВО И ВРЕМЯ** 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 по времени идёт только в одном направлении — из прошлого в будущее. Вернуться к каким-либо событиям в прошлом мы можем только в наших воспоминаниях. Если попытаться продумать последствия путешествий во времени, можно прийти к серьёзным логическим противоречиям. Именно это, по-видимому, послужило причиной гипотезы, выдвинутой выдающимся астрофизиком Хокингом, о принципиальной необратимости времени. Согласно этой гипотезе в природе обязан существовать до сих пор не открытый закон, запрещающий перемещение во времени из настоящего в прошлое.

**Стивен Уильям Хокинг**  
(р. 1942)

Один из наиболее авторитетных учёных и известных широкой общественности физиков-теоретиков нашего времени.

Физика — это не свод застывших правил, а живая наука, которая развивается с течением времени и открывает новые горизонты познания. Нобелевский лауреат по физике Дэвид Гросс в конце XX в. сформулировал 10 ключевых проблем, которые надо решить физикам в следующем тысячелетии. Одна из них — почему наша Вселенная имеет одно временное измерение и три пространственных.

**БОЛЬШОЕ И МАЛЕНЬКОЕ** 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 молекул воды).

Для этого мы будем использовать запись больших и малых чисел в виде степени числа 10. В этом случае можно сказать, что число молекул в капле воды —  $10^{22}$ , или величина двадцать второго порядка.

«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».

Р. Фейнман



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 мыши превышает длину плодовой мушки на два порядка*.

**МЕСТО ЧЕЛОВЕКА В ОКРУЖАЮЩЕМ ЕГО МИРЕ** Согласно современным научным представлениям, 13–14 миллиардов 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 «венец природы» — Человек.



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 (0,000000001 с) или одну наносекунду, а возраст Земли учёные оценивают в  $10^{17}$  с (100 000 000 000 000 000 с).

Человек научился создавать приборы (ускорители частиц, мощные телескопы и космические аппараты), позволяющие ему изучать как тайны строения крошечных атомов, так и загадки огромной Вселенной. И в этом большая заслуга физики как науки о природе.



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  $40 \times 60 \times 500 = 1\,200\,000$  земных лет.

Для того чтобы сделать короче запись таких чисел, как 100, 1000, 10 000, 1 000 000 000, их записывают как *степени* числа десять.

Вторая степень десяти — 100, записывается как  $10^2$ . Соответственно  $1\,000\,000\,000 = 10^9$ .

Размеры даже очень маленьких тел часто необходимо выражать в метрах. Так, например, размер микробов в среднем составляет одну миллионную часть метра, или 0,000001 м. Это число также можно выразить степенью числа 10:

$$0,000001 \text{ м} = 10^{-6} \text{ м}.$$



**Карл Эдуард Саган**  
(1934—1996)

Американский астроном, публицист и известный популяризатор науки.

#### ВОПРОСЫ:

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



## ПОДВЕДЁМ ИТОГИ

- Физика — наука о природе, которая изучает физические тела, явления и законы, которым они подчиняются.
- 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.
- Для описания какого-либо свойства физического тела и явления служит физическая величина.
- Для измерения физических величин используются измерительные приборы.
- Измерение — это сравнение физической величины с эталоном.
- При измерении физических величин всегда присутствуют погрешности измерения, которые необходимо учитывать.



Электромагнитные

Механические

Тепловые

Световые

ИЗУЧЕНИЕ

ФИЗИЧЕСКИЕ  
ЯВЛЕНИЯ

ОПИСАНИЕ

Физическая  
величинаЧисловое  
значениеЕдиницы  
измерения

### «ПОДРОБНЕЕ...»

Суорц Кл. Э. Необыкновенная физика обыкновенных явлений. Т. 1. — М.: Наука, 1986.

Хребтов В. А. Физика. — СПб.: Издательский дом «Литера», 2006. — (Энциклопедический словарь школьника).

Энциклопедия для детей. Т. 16. Физика. Ч. 1. Биография физики. Путешествие в глубь материи. Механическая картина мира. — М.: Аванта+, 2000.

Физический энциклопедический словарь

<http://www.all-fizika.com>

Архив фотографий НАСА

<http://apod.nasa.gov/apod/archivepix.html>

Метрологический музей  
РОССТАНДАРТА при ФГУП  
ВНИИМ им. Д. И. Менделеева

<http://museum.vniim.ru>

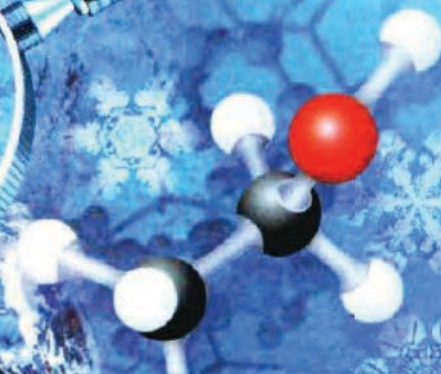
### ВОПРОСЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ:

- 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?



# СТРОЕНИЕ ВЕЩЕСТВА

- СТРОЕНИЕ ВЕЩЕСТВА
- МОЛЕКУЛЫ И АТОМЫ
- БРОУНОВСКОЕ ДВИЖЕНИЕ. ДИФфуЗИЯ
- ВЗАИМНОЕ ПРИТЯЖЕНИЕ И ОТТАЛКИВАНИЕ МОЛЕКУЛ
- СМАЧИВАНИЕ И КАПИЛЛЯРНОСТЬ
- АГРЕГАТНЫЕ СОСТОЯНИЯ ВЕЩЕСТВА



## КОРОТКО О ГЛАВНОМ...

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.

*Ричард Фейнман*



## СТРОЕНИЕ ВЕЩЕСТВА

### ВЫ УЗНАЕТЕ:

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

### ВСПОМНИТЕ:

- Для чего нужны научные гипотезы?



**Ричард Филипс Фейнман**  
(1918—1988)

Выдающийся американский физик. Лауреат Нобелевской премии — самой престижной в мире премии в области физики. Автор знаменитого учебника по физике.

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 около двух с половиной тысяч лет назад Демокритом была выдвинута гипотеза 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, 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 состоит тело. Объём тела может изменяться вследствие того, что меняются расстояния между этими частичками.

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, нагретшись 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. 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. Можно заметить, что при нагревании колбы уровень воды в трубочке повышается.

Опыты показывают, что при нагревании объём тела увеличивается, а при охлаждении — уменьшается. Чем можно объяснить способность тел изменять свой объём? 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.

Рассмотрим ещё один опыт. Если смешать равные объёмы воды по 100 мл, то объём смеси получится 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 этих промежутков и способствует уменьшению общего объёма веществ.

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  $10^{22}$ .

Чтобы убедиться в том, что частицы вещества малы, проведём опыт. В сосуде с водой растворим немного марганцовки. Через некоторое время вода в нём окрасится в малиновый цвет. Отольём немного подкрашенной воды в другой сосуд и долём 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.



**Антуан Лавуазье**  
(1743—1794)

Выдающийся французский химик, основоположник современной химии. В 1789 г. опубликовал труд «Методы наименования химических элементов», в котором изложил теорию элементов как строительных блоков в химии.



**Джон Дальтон**  
(1766—1844)

Английский физик и химик, оказавший большое влияние на развитие атомистической теории. Ввёл в науку понятие «атомный вес» и первым определил атомные веса (массы) ряда элементов.

#### ВОПРОСЫ:

- Из чего состоит вещество?
- Какие опыты подтверждают гипотезу о том, что вещество состоит из мельчайших частиц?
- Какой вы можете предложить провести опыт, подтверждающий, что между атомами вещества имеются промежутки?



# МОЛЕКУЛЫ И АТОМЫ

## ВЫ УЗНАЕТЕ:

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

## ВСПОМНИТЕ:

- 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.

**МОЛЕКУЛЫ** Размеры атомов очень малы. Если увеличить яблоко до размеров земного шара, то размер атома увеличится до размера яблока. Но как из кирпича, дерева, стекла можно построить множество различных зданий, так из атомов можно построить более сложные соединения — молекулы.

Например, молекула воды *a* состоит из трёх атомов: двух атомов водорода и одного атома кислорода.

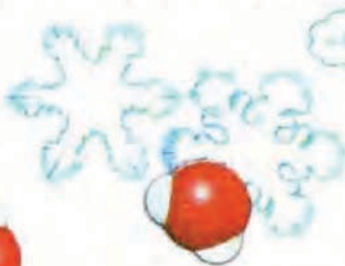
Названия различных атомов принято обозначать латинскими буквами. Из курса химии вы узнаете, что воду обозначают символом  $H_2O$ . Здесь  $H$  — атом водорода,  $O$  — атом кислорода.

Молекула кислорода *b* 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.

**Дмитрий Иванович Менделеев**  
(1834—1907)

Великий русский химик, открывший периодический закон химических элементов, разносторонний учёный, педагог и общественный деятель.



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

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 плёнки увеличивается, но затем растекание прекращается, и площадь больше не изменяется.

Рэлей предположил, что молекулы масла в этом опыте располагаются в один ряд, т. е. толщина плёнки совпадает с

**Джон Уильям Стретт лорд Рэлей**  
(1842—1919)

Английский физик, член Лондонского королевского общества. Диапазон его научных интересов был очень широк: акустика, теория колебаний, оптика, электричество и т. д.





размером одной молекулы. Толщина плёнки (или диаметр молекулы) в данном случае равна отношению объёма капли к площади плёнки. Учитывая значения, полученные в этом опыте, получаем

$$d = \frac{V}{S} = \frac{0,0009 \text{ см}^3}{5500 \text{ см}^2} = 0,00000016 \text{ см.}$$

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



Размеры молекул и атомов очень малы. Если опоясать земной шар верёвкой вдоль экватора, то её длина окажется во столько раз больше ширины вашей ладони, во сколько раз ширина ладони больше диаметра атома. Интересен и такой пример: известно, что на специальном оборудовании можно получить листки золота толщиной менее 0,01 мкм. Но даже у такого тонкого листка количество атомных слоёв составляет порядка сотни.

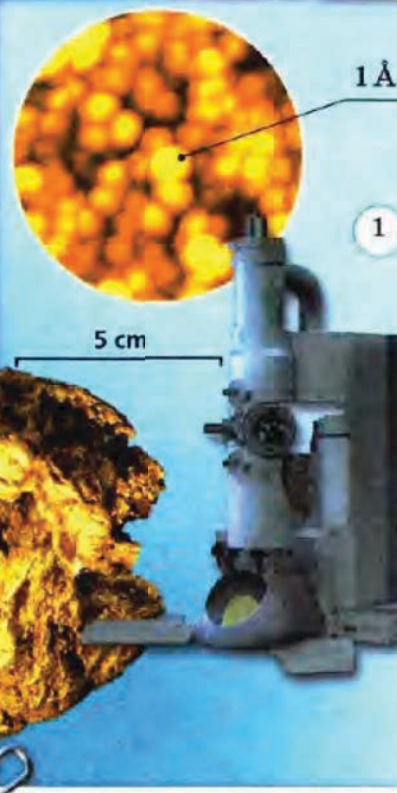
#### КАК УВИДЕТЬ МОЛЕКУЛЫ И АТОМЫ. СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ

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.

Сам мир молекул и атомов очень разнообразен. Если размер самых маленьких молекул достигает порядка  $10^{-10}$  м, то крупные молекулы могут достигать «больших» размеров — микрометров ( $10^{-6}$  м). Примерами таких молекул являются белки — это молекулы живой природы, которые состоят из огромного числа атомов.

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

**НАНОТЕХНОЛОГИИ** Человечество подошло к новой эре — эре нанотехнологий. Нанотехнологии — это область знаний, позволяющая создавать материалы из относительно небольшого числа атомов. Физики в настоящее время научились работать с отдельными атомами и создавать из них новые материалы, обладающие качественно новыми физическими, химическими и биологическими свойствами. Как ожидается, нанотехнологии позволят решить многие важные для человечества задачи.



Примером одной из наноструктур является фуллерен, который получил своё название в честь архитектора Б. Фуллера, придумавшего подобные структуры для использования их в архитектуре. Фуллерен внешне напоминает футбольный мяч, который состоит из заплатак пяти- и шестиугольной формы. Если представить, что в вершинах этого многогранника находятся атомы углерода, то получится самый стабильный фуллерен C<sub>60</sub>. Удивительные свойства молекулы фуллерена, связанные с их структурой и прочностью, позволили использовать их для решения самых разных практических задач в технике и медицине.

#### ВОПРОСЫ:

- С помощью какого опыта можно определить размер молекул?
- Как вы думаете, является ли результат опыта Рэлея точным?



**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

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

**ВСПОМНИТЕ:**

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



**Роберт Броун**  
(1773—1858)

Английский ботаник. Основные работы посвящены морфологии и систематике растений.



**Мариан Смолуховский**  
(1872—1917)

Польский физик-теоретик. Его работы по теории броуновского движения наряду с работами А. Эйнштейна являются основополагающими в этой области.



## БРОУНОВСКОЕ ДВИЖЕНИЕ. ДИФФУЗИЯ

Все вещества состоят из мельчайших частиц — молекул и атомов. 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 молекулы вещества находятся в непрерывном движении, относится явление, которое впервые наблюдал английский ботаник Роберт Броун.

В 1827 г. Броун, занимаясь изучением поведения цветочной пыльцы в жидкости под микроскопом (он изучал водную взвесь пыльцы растения *Clarkia pulchella*), неожиданно обнаружил очень необычное явление. Отдельные споры 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 строгое объяснение броуновского движения дал в 1904 г. польский физик Мариан Смолуховский. Одновременно теорию этого явления разрабатывал Альберт Эйнштейн, осознавая, что оно служит экспериментальным подтверждением атомной теории строения веществ.

Эйнштейн объяснил, что взвешенная в воде спора подвергается постоянной «бомбардировке» со стороны молекул воды. Удары молекул в частицу с разных сторон и приводят к скачкообразным перемещениям, которые Броун наблюдал в микроскоп. А поскольку молекулы в микроскоп не видны, то движение спор 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. Модель явления диффузии представлена на рисунке 1. Наблюдаемое явление объясняется тем, что молекулы воздуха и брома, расположенные возле границы раздела газов, меняются местами. Двигаясь непрерывно и беспорядочно, молекулы газов постепенно распространяются по всему объёму. Смесь этих газов в сосуде становится однородной.

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

**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. Диффузия является одной из причин распространения вредных веществ в окружающей среде.



#### ВОПРОСЫ:

- Каковы причины броуновского движения?
- Что является причиной диффузии?
- В тёплом или холодном помещении запах духов распространяется быстрее? Объясните свой ответ.



## ВЗАИМНОЕ ПРИТЯЖЕНИЕ И ОТТАЛКИВАНИЕ МОЛЕКУЛ

### ВЫ УЗНАЕТЕ:

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

### ВСПОМНИТЕ:

- 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 гирию.

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

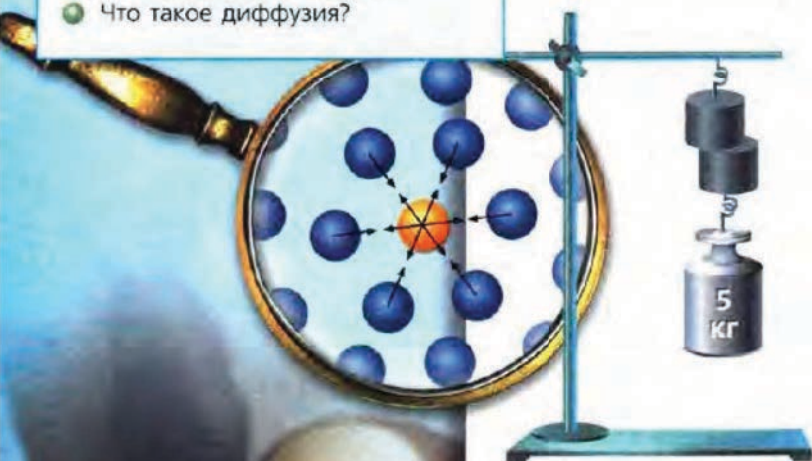
множество молекул внутри вещества притягиваются друг к другу. Если мы захотим изменить форму какого-либо тела, то нам придётся преодолеть эти силы притяжения. Чем больше молекул и чем сильнее они притягиваются, тем сложнее нам будет это сделать.

Почему же, для того чтобы «сцепить» цилиндры, необходимо как следует зачистить 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 ослабевает.

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 не распадутся, 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.







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 ускользали от наблюдения. Он же впервые предположил, что эти силы имеют электрическую природу.

**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.

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.



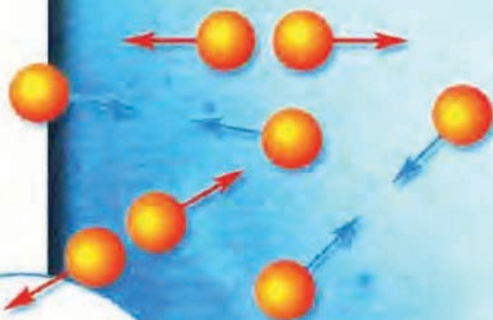
Идея о том, что можно создать устройства и работать с объектами, которые имеют наноразмеры, была впервые высказана Ричардом Фейнманом в 1959 г. Не только наблюдать за нанообъектами, но и передвигать отдельные атомы стало возможным после создания специального устройства, которое называют сканирующим туннельным микроскопом. Это изобретение было отмечено Нобелевской премией. Принцип действия этого микроскопа основан на использовании законов квантовой физики.

В разных веществах притяжение между молекулами разное. Сломать деревянную палку несложно, а вот сломать стальной прут руками мы не можем.



**Роберт Бойль**  
(1527—1691)

Английский физик и химик, прославился исследованиями в области естественных наук.



#### ВОПРОСЫ:

- Как взаимодействуют между собой молекулы?
- Что произошло бы с окружающим нас миром, если бы внезапно исчезло притяжение между молекулами?



## СМАЧИВАНИЕ И КАПИЛЛЯРНОСТЬ

### ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Что такое смачивание.
- Что такое капиллярность.

### ВСПОМНИТЕ:

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

Если пролить воду на пол, то она растечётся лужицей и образует тонкую плёнку. Если же пролить немного воды на смазанную жиром сковороду, она не растечётся, а соберётся в круглые капельки. Одна одежда промокает под дождём, а другая нет, вода просто стекает с неё. Почему?

**ЯВЛЕНИЕ СМАЧИВАНИЯ** Проведём следующий опыт. Поднесём к поверхности воды стеклянную пластинку, подвешенную на пружине. Когда пластинка коснётся поверхности воды, начнём поднимать её вверх. Можно увидеть, что в течение некоторого времени пластинка как будто прилипла к воде, и наши усилия только растягивают пружину. Когда же наконец пластинка оторвётся от воды, на её нижней поверхности останется тонкая водяная плёнка.



Мы уже знаем, что между молекулами действуют силы притяжения. То, что нам понадобилось приложить определённое усилие для того, чтобы оторвать стеклянную пластинку от поверхности воды, говорит о том, что силы межмолекулярного притяжения в этом опыте действовали между молекулами воды и молекулами стекла. Вода, оставшаяся на стекле после отрыва, свидетельствует о том, что разрыв произошёл именно между молекулами воды. В противном случае стекло осталось бы сухим. Значит, сила притяжения молекул воды к молекулам стекла превосходит силу притяжения молекул воды друг к другу.

Явление растекания жидкости по поверхности твёрдого тела называют **смачиванием**. Это происходит в том случае, когда молекулы жидкости притягиваются к твёрдому телу сильнее, чем друг к другу.

Теперь покроем стеклянную пластинку тонким слоем растительного масла и повторим опыт. При вынимании пластинки из воды она останется сухой, а пружина не будет дополнительно растягиваться. Говорят, что тело не смачивается жидкостью, если жидкость не растекается по поверхности этого тела тонкой плёнкой, а собирается в круглые капельки. Явление несмачивания объясняется тем, что молекулы жидкости притягиваются к молекулам твёрдого тела слабее, чем друг к другу.

Смачивание широко используется на практике. Материалы, из которых шьётся одежда, защищающая от дождя, плохо смачиваются водой. И наоборот, полотенца шьются из тканей, которые хорошо смачиваются.





**Явлением смачивания** объясняются многие удивительные факты, присущие живой природе. Например, цветки лотоса, одного из самых красивых водных растений, остаются чистыми в любой воде, даже если она сильно загрязнена. Дело в том, что капли воды не смачивают поверхность листьев и цветков и скатываются с них, не оставляя следов. Не смачиваются водой также перья водоплавающих птиц, что позволяет им долго находиться в воде сухими. Причина плохой смачиваемости перьев — наличие на их поверхности тонкой жировой плёнки.

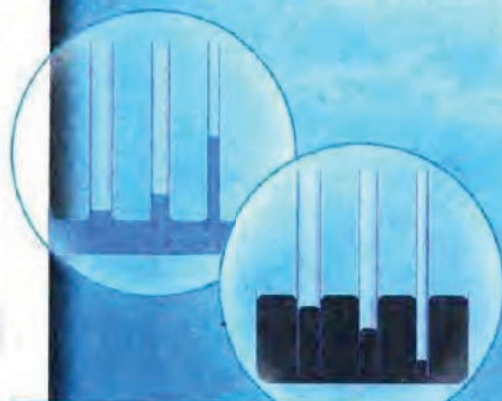
Смачивание влияет на то, какую форму принимает поверхность жидкости в месте соприкосновения с сосудом. Когда силы межмолекулярного притяжения в жидкости превышают силы притяжения молекул жидкости и стенок сосуда, форма поверхности жидкости в месте соприкосновения становится выпуклой. Если же поверхность сосуда смачивается жидкостью, форма поверхности жидкости будет вогнутой.

**ЯВЛЕНИЕ КАПИЛЛЯРНОСТИ** Смачиванием обусловлено явление, называемое **капиллярностью**. Капиллярами называют тонкие трубки (от лат. *capillaris* — волосной). По капиллярам смачивающая жидкость поднимается вверх. *Чем тоньше капилляр, тем выше поднимается в нём смачивающая жидкость*. Если же жидкость не смачивает вещество, из которого состоит капилляр, она опускается по капилляру вниз.

Мы нередко сталкиваемся с телами, пронизанными капиллярами. Это, например, бумага, пряжа, дерево, кожа и т. д. Капилляры часто настолько тонки, что их нельзя увидеть невооружённым глазом. Все подобные вещества при соприкосновении с жидкостью впитывают её в себя. Если маленькую часть кусочка сахара опустить в воду, вода по капиллярам быстро поднимется вверх и весь кусочек сахара намокнет. Похожая картина будет и в случае, когда мы опустим в воду кусочек салфетки или бумажного полотенца.



Долгое время физиков и биологов интересовал вопрос: как мухам удаётся бегать по оконному стеклу и даже ходить по потолку вверх лапками? Как оказалось, дело не в каких-то особенных присосках, а в смачиваемости. Лапка мухи оставляет как след крохотную капельку вязкой жидкости, выделяемую железами. Именно это удерживает муху как на стекле, так и на потолке.



#### ВОПРОСЫ:

- Почему капли росы на листьях растений имеют форму шариков?
- Почему ветер, дующий над поверхностью водоёма, практически не поднимает брызг?



**Явление капиллярности** широко распространено в природе. Питательные вещества распространяются по различным частям растений благодаря капиллярам, пронизывающим их. Человек и животное обладают сетью мелких кровеносных сосудов, называемых капиллярами. Влага поступает к корням растений через капилляры, пронизывающие почву.



## АГРЕГАТНЫЕ СОСТОЯНИЯ ВЕЩЕСТВА

### ВЫ УЗНАЕТЕ:

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

### ВСПОМНИТЕ:

- 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** Оказывается, что в природе каждое вещество может находиться в трёх состояниях: в 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 незидимы. 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 более близком расстоянии друг к другу, чем молекулы газа, поэтому силы притяжения между ними более заметны.

Несмотря на то что изменить форму жидкости очень легко, изменить объём фиксированного количества жидкости очень 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.







В начале XVII в. английский философ Фрэнсис 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».

**ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА Твёрдых тел** Вокруг нас можно встретить множество твёрдых тел — это дома, машины, различные инструменты, 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 очень близко друг к другу, причём в большинстве твёрдых тел они расположены в определённом порядке. Такие тела называют *кристаллическими*. Атомы, расположенные в определённом порядке, образуют кристаллическую решётку.

Поваренная соль *a* имеет кристаллическую структуру, состоящую из двух разных атомов (натрия и хлора). Кристаллы льда *b* состоят из молекул воды.

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

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

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



**Фрэнсис Бэкон**  
(1551—1626)

Английский психолог, философ и политик. Начал свою профессиональную жизнь как юрист, но позже стал широко известен как адвокат, философ и активный сторонник научной революции. Свой подход к проблемам науки Бэкон изложил в трактате «Новый органон», вышедшем в 1620 г. В этом трактате он провозгласил целью науки увеличение власти человека над природой. Именно ему принадлежит знаменитый афоризм «Знание — сила».

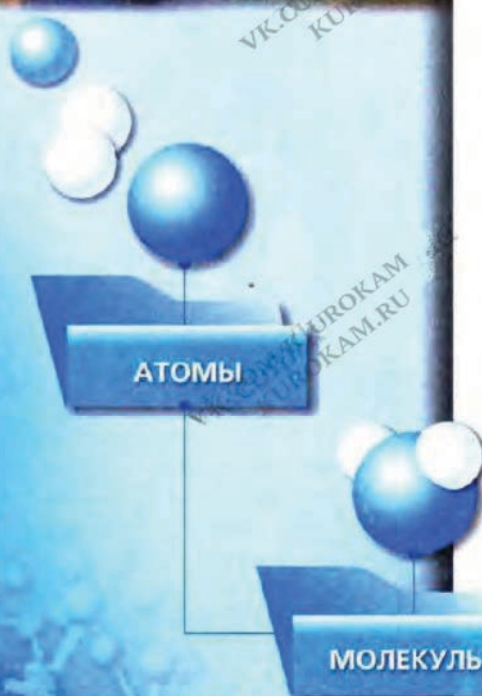


#### ВОПРОСЫ:

- Почему молекулы пролитой жидкости не «разбегаются» друг от друга?
- Каковы свойства газов и чем эти свойства объясняются?
- Каковы свойства жидкостей и чем эти свойства объясняются?
- Каковы свойства твёрдых тел и чем эти свойства объясняются?

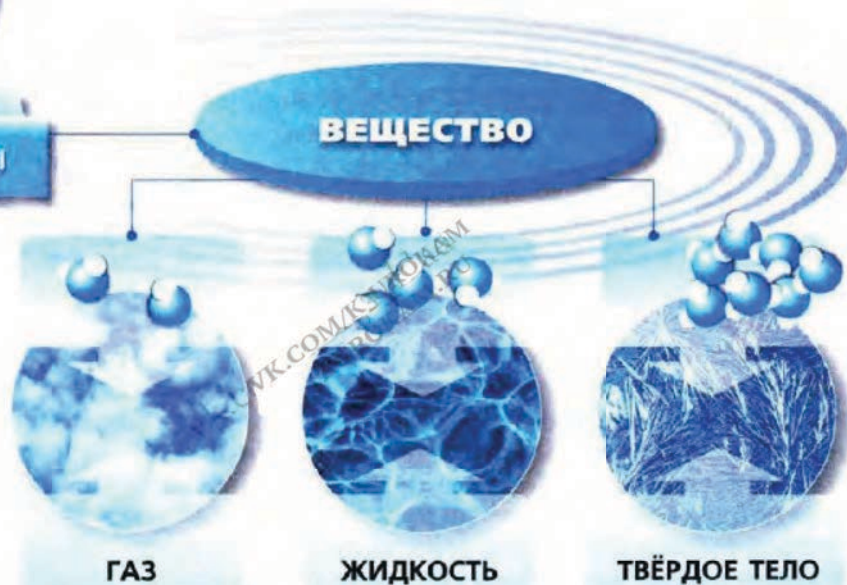






## ПОДВЕДЕМ ИТОГИ

- Все вещества состоят из мельчайших частиц — атомов и молекул, между которыми есть промежутки.
- Частицы вещества (атомы и молекулы) находятся в постоянном движении.
- Частицы вещества взаимодействуют друг с другом — в зависимости от расстояния между ними они притягиваются или отталкиваются.
- Существуют различные агрегатные состояния вещества. Свойства вещества в каждом агрегатном состоянии зависят от того, каким образом упорядочены в нём молекулы и как они взаимодействуют между собой.



### «ПОДРОБНЕЕ...»

Перельман Я. И. Знаете ли вы физику? Библиотечка «Квант». Вып. 82. — М.: Наука, 1992.

Энциклопедия для детей. Т. 16. Физика. Ч. 1. Биография физики. Путешествие в глубь материи. Механическая картина мира. — М.: Аванта+, 2000.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ:

- Опыт по смешиванию воды и спирта показывает, что между молекулами имеются промежутки. Означает ли это, что вода и спирт являются легко сжимаемыми веществами?
- Можно ли наблюдать броуновское движение чаинок в стакане горячего чая?
- На лабораторном столе случайно пролили эфир. Почему через некоторое время запах эфира стал отчётливо ощущаться в отдалённом углу комнаты?

Международный научно-образовательный интернет-журнал для школьников  
<http://oscteam.com>

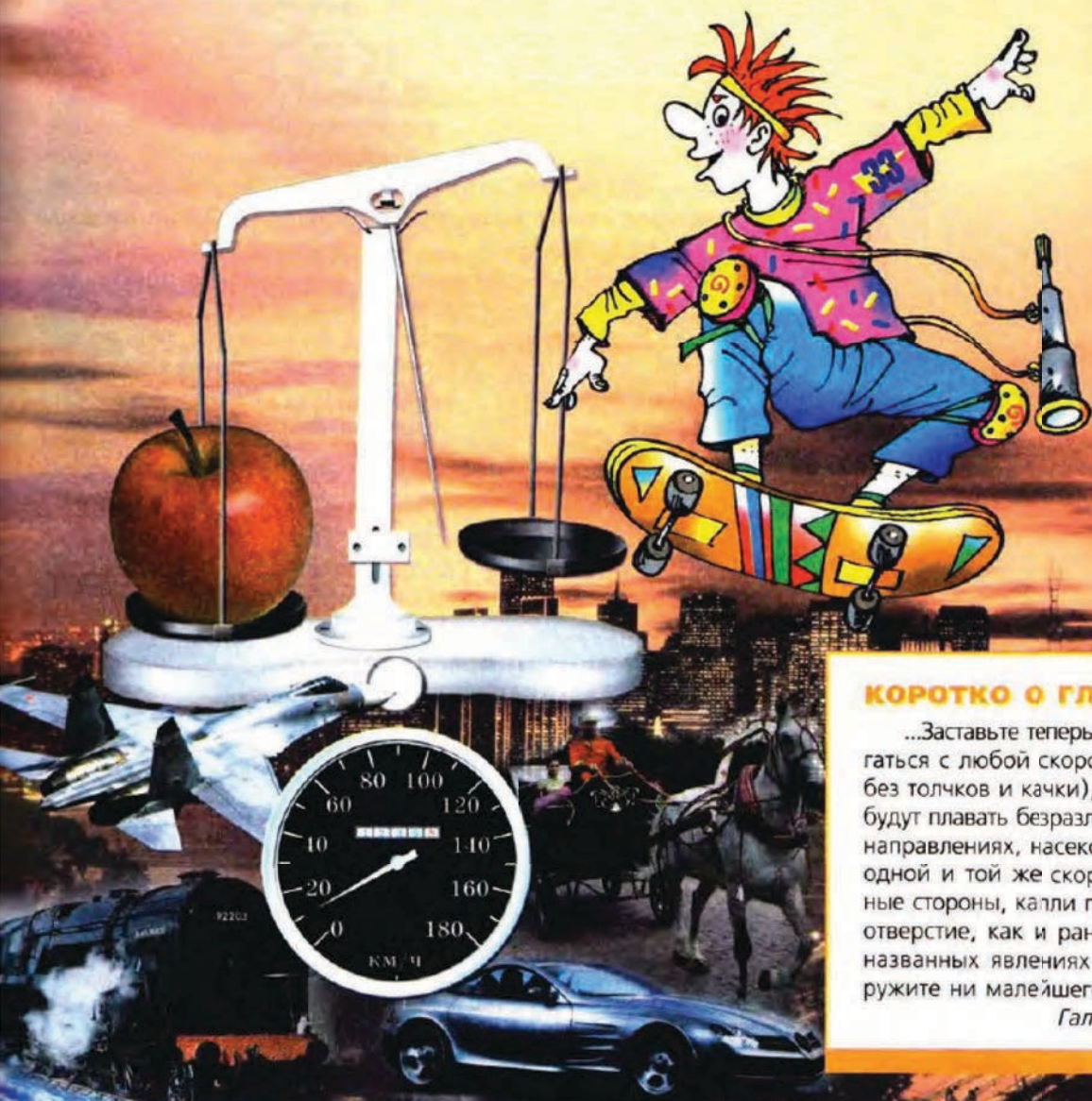
Элементы: Популярный сайт о фундаментальной науке  
<http://elementy.ru>





# ДВИЖЕНИЕ, ВЗАИМО- ДЕЙСТВИЕ, МАССА

- МЕХАНИЧЕСКОЕ ДВИЖЕНИЕ
- СКОРОСТЬ
- СРЕДНЯЯ СКОРОСТЬ. УСКОРЕНИЕ
- ИНЕРЦИЯ
- ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТЕЛ И МАССА
- ПЛОТНОСТЬ И МАССА



## КОРОТКО О ГЛАВНОМ...

...Заставьте теперь корабль двигаться с любой скоростью (только без толчков и качки), так же рыбы будут плавать безразлично в любых направлениях, насекомые летать с одной и той же скоростью в разные стороны, капли падать в узкое отверстие, как и раньше! Во всех названных явлениях вы не обнаружите ни малейшего изменения!

*Галилео Галилей*



## МЕХАНИЧЕСКОЕ ДВИЖЕНИЕ

### ВЫ УЗНАЕТЕ:

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

### ВСПОМНИТЕ:

- 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. Раздел физики, изучающий движение тел, называют **механикой** (от греч. *mechanike* — наука о машинах). Говорят, что тело движется, если его положение меняется относительно окружающих его тел.

**Механическим движением** тела называют 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 друг и смотрит из окна на вас. Двигается ли поезд?

«Конечно, да!» — скажете вы. «Нет, поезд покоится. Двигается перрон, стоящие на нём люди, деревья за окном», — скажет ваш друг. 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 относительно. 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 размеры тела можно не принимать во внимание и рассматривать его как **точку**. Например, если требуется рассчитать время движения самолёта, летящего из Москвы в Сочи, то в этом случае не важен размер самолёта. Однако при въезде в ангар размеры самолёта играют важную роль.





**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).

Форма траектории зависит от выбора тела отсчёта. Например, если за тело отсчёта выбрать вертолёт, то траектория точки на лопасти пропеллера является 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 (СИ) является *метр* (м). Также можно использовать и другие единицы длины: миллиметр, сантиметр, километр и т. д.

**РАВНОМЕРНОЕ ПРЯМОЛИНЕЙНОЕ ДВИЖЕНИЕ** Если траектория тела — прямая линия, то такое движение называют **прямолинейным**. Если тело за любые равные промежутки времени проходит равные пути, то его движение называют **равномерным**.

На практике равномерное движение встречается достаточно редко. Близким к равномерному является движение Земли вокруг Солнца, 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. Итак, если тело за равные промежутки времени проходит разные пути, то его движение называют **неравномерным**.

## ФОРМЫ ТРАЕКТОРИИ

Прямая  
A ————— B

Ломаная  
A ————— B

Кривая  
A ————— B

## МОИ ФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведите эксперимент, используя линейку и фломастер так, как показано на рисунке.

### «ПОМОЩНИК»

- Постарайтесь двигать линейку так, чтобы фломастер катился по столу без скольжения.
- Сравните путь, пройденный фломастером, и путь, пройденный концом линейки, обозначенным буквой А.
- Объясните полученный результат.

## ВОПРОСЫ:

- Что называют механическим движением?
- Почему, говоря о движении тела, обязательно надо указать, относительно каких тел происходит это движение?
- Что называют путём, пройденным телом?
- Какое движение называют равномерным?
- Какое движение называют неравномерным?



**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

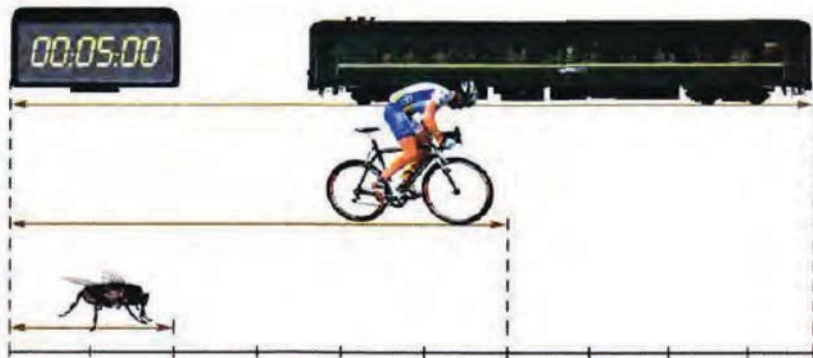
- 🕒 Что такое скорость.
- 🕒 Как можно определить скорость движения тел.
- 🕒 Каковы единицы скорости.
- 🕒 Как вычислить скорость тела при равномерном движении.
- 🕒 Как построить графики зависимости скорости от времени.
- 🕒 Как построить графики зависимости пути от времени.

**ВСПОМНИТЕ:**

- 🕒 В каком случае тело движется равномерно?
- 🕒 Что такое путь, единицы пути?

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.

За одно и то же время различные тела могут проходить разные расстояния. За 5 мин движения поезд прошёл большее расстояние, чем проехал велосипедист, а велосипедист — большее расстояние, чем пролетела муха. Значит, одно и то же расстояние поезд проезжает быстрее, чем велосипедист, а велосипедист — быстрее, чем пролетает муха.



**ПОНЯТИЕ СКОРОСТИ** В физике быстроту перемещения тела характеризует такая величина, как **скорость**. Например, человек может за время 1 ч пройти путь 5 км, автомобиль за это же время может проехать 60 км, а самолёт пролетит 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 ДВИЖЕНИИ** Скорость при равномерном 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 движении, необходимо путь, пройденный телом, разделить на время, за которое этот путь пройден:

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

**ЕДИНИЦЫ СКОРОСТИ** В Международной системе единиц (СИ) за единицу скорости принимают скорость такого равномерного движения, при котором движущееся тело за 1 секунду проходит путь, равный 1 метру. Эту единицу называют **1 метр в секунду** и обозначают 1 м/с.

Очень часто 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 тоже будет иметь разные численные значения.

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

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



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

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).

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.

Кроме скорости, существуют и другие векторные физические величины, которые характеризуются числовым значением и направлением (с ними вы познакомитесь чуть позже). Вместе с тем существуют и другие физические величины, которые не имеют направления, а характеризуются только числовым значением. Такие физические величины называют **скалярными**. Примерами скалярных величин могут служить путь, объём, площадь и т. д.

### 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 равномерном движении — это прямая, параллельная оси абсцисс. Действительно, с течением времени скорость при таком движении остаётся постоянной.

График зависимости пути, пройденного телом, от времени при прямолинейном равномерном движении — это прямая, расположенная в первой четверти координатной плоскости и проведённая из начала координат. Действительно, при движении тела с постоянной скоростью с течением времени путь, пройденный телом, увеличивается. Причём эта зависимость прямая, так как она описывается уравнением  $s = vt$ .

График зависимости скорости тела от времени при равномерном движении

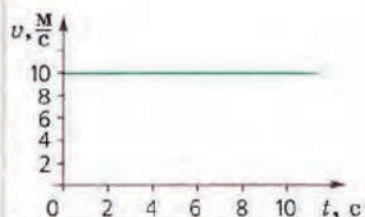
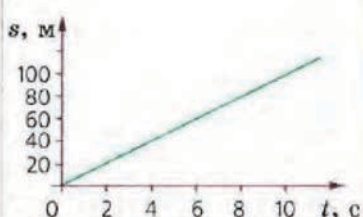


График зависимости пути, пройденного телом, от времени



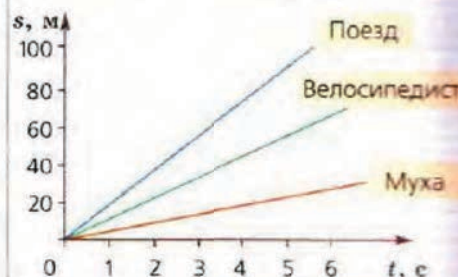
### МОИ ФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

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.

График зависимости пути от времени при равномерном движении



### ВОПРОСЫ:

- Что показывает скорость тела при равномерном движении?
- Одинакова ли скорость тела в начале и конце любого отрезка пути при равномерном движении?
- Каковы единицы скорости в СИ?



**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

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

**ВСПОМНИТЕ:**

- В каком случае тело движется неравномерно?
- Что такое путь?
- Что такое скорость?
- Каковы единицы скорости?
- Как определить скорость тела при равномерном движении?

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

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

**СРЕДНЯЯ СКОРОСТЬ. УСКОРЕНИЕ**

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 ускорялись. 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:

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

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 найти пройденный за это время путь по формуле

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

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

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

**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 2,5 км прошёл пешком за 30 мин. Как будут выглядеть соответствующие графики, если в



пределах каждого временного интервала велосипедист двигался с постоянными скоростями?

График зависимости пути, пройденного велосипедистом, от времени

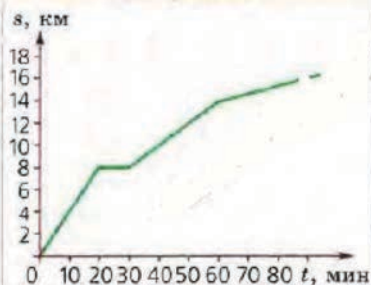
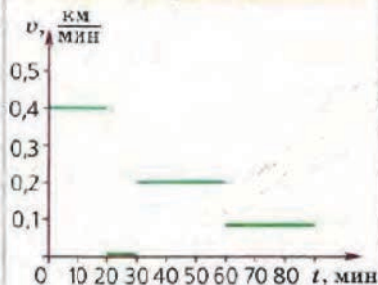


График зависимости скорости велосипедиста от времени



**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 равнопеременном движении. Она называется **ускорением** и обозначается латинской буквой  $a$ . Для того чтобы вычислить ускорение, необходимо найти отношение изменения скорости ко времени, в течение которого это изменение произошло:

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

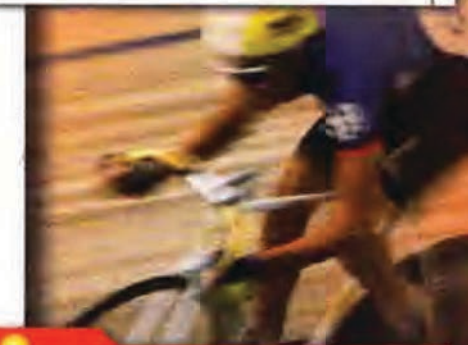
т. е. от значения его конечной скорости нужно отнять значение начальной скорости и полученный результат разделить на рассматриваемое время движения.

**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 **1 метр на секунду в квадрате** и обозначают  $1 \text{ м/с}^2$ :

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

Ускорение может принимать как положительное, так и отрицательное значение. Действительно, если скорость тела в начале движения ( $v_0$ ) меньше скорости тела в конце движения ( $v$ ), то при нахождении ускорения положительное число ( $v - v_0$ ) мы делим на положительное число ( $t$ ) и получаем положительное значение ускорения. 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.



Если обозначить величины: время движения тела —  $t$ , начальная скорость —  $v_0$  и скорость тела в момент времени  $t$  —  $v$ , то ускорение рассчитывают по формуле

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

#### ВОПРОСЫ:

- ❶ Как определяют среднюю скорость при неравномерном движении?
- ❷ Может ли отличаться скорость тела в некоторый момент времени от его средней скорости и если да, то почему?
- ❸ Как определить ускорение тела при равноускоренном движении?
- ❹ Каковы единицы ускорения в СИ и могут ли существовать другие единицы ускорения?

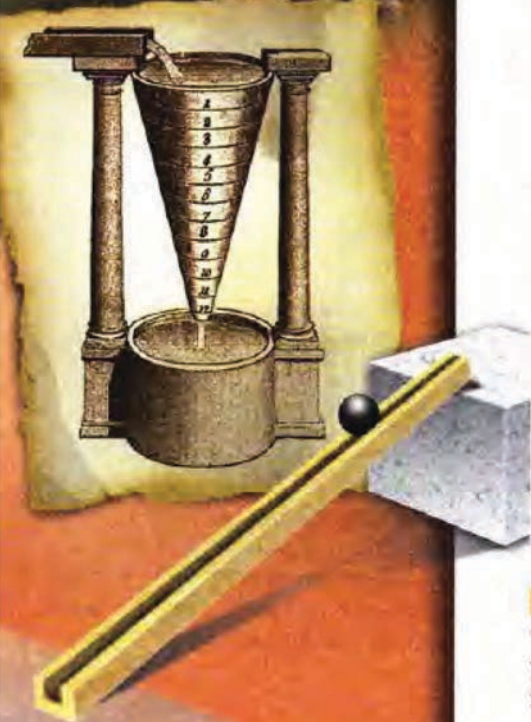


**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

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

**ВСПОМНИТЕ:**

- 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. Из повседневного опыта 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 помехи. Каким в этом случае будет характер движения мяча?



Древнегреческий учёный Аристотель 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, она движется. Если лошадь остановится, телега двигаться перестанет. Авторитет Аристотеля в науке был так высок, что это его утверждение являлось непререкаемым на протяжении более чем двух тысячелетий. И только в XVII в. исследования Галилео Галилея доказали ошибочность этого утверждения. Галилей провёл мысленный эксперимент, в котором он представлял, что будет с телом, которое получило толчок и движется по гладкой поверхности. Основываясь на тенденции тела сохранять состояние своего движения при уменьшении внешних воздействий, Галилей утверждал, что на идеально гладкой поверхности тело после толчка уже никогда не остановится. Свою гипотезу он постарался доказать экспериментально. Для этого им были поставлены тщательные опыты по изучению движения шара по длинному наклонному желобу, переходящему в гладко отполированную поверхность.

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



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



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

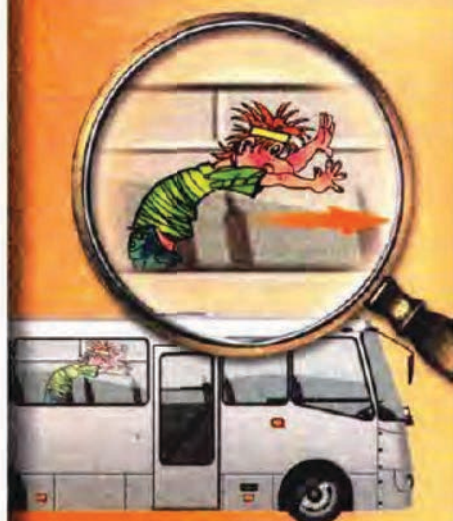
**ПРИМЕРЫ ИНЕРЦИИ** Проявления инерции мы наблюдаем постоянно и настолько к ним привыкли, что часто даже не замечаем их. Например, при резком торможении автобуса *a* пассажиры некоторое время продолжают по инерции своё движение и наклоняются вперёд. Когда же автобус неожиданно трогается с места, пассажиры по инерции продолжают оставаться в покое *б* и отклоняются назад.

Наличие инерции объясняет невозможность мгновенной остановки автомобиля, даже если водитель резко нажал на тормоза.

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



a



б



#### ВОПРОСЫ:

- 1. Что называют инерцией?
- 2. Какое движение называют движением по инерции?
- 3. Как движется тело, если на него не действуют другие тела?



## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТЕЛ И МАССА

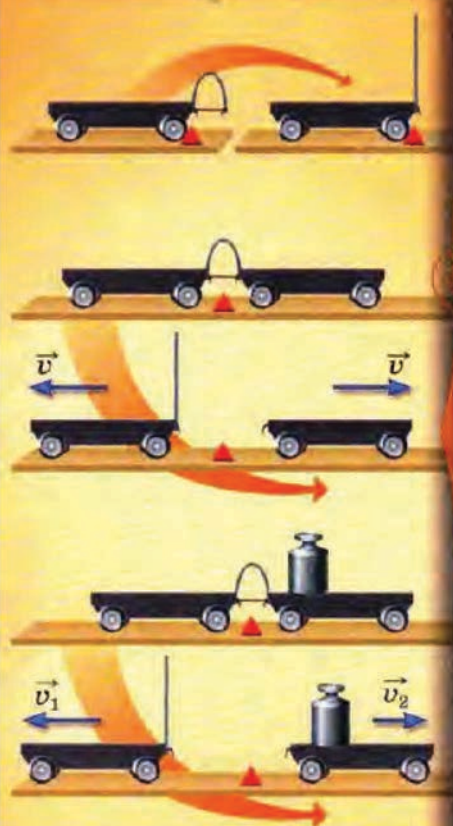
### ВЫ УЗНАЕТЕ:

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

### ВСПОМНИТЕ:

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

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 разные стороны. Происходит явление отдачи.



### ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТЕЛ

Действие тел друг на друга называется взаимодействием. С 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 раскачать 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.

Прикрепим к первой тележке упругую пластинку, изогнутую и связанную нитью. 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.

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.

Продолжим изучать движение тележек, к одной из которых прикреплена пластина, стянутая нитью. Если в опыте участвуют одинаковые тележки, то после разрезания нити они разъедутся приблизительно с одинаковой скоростью. Если же на одну из тележек положить гирию, то после разрезания нити она будет двигаться значительно медленнее.



**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 называют свойство тела сохранять свою скорость (или состояние покоя).

**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 (1 кг). Килограмм — это масса эталона, который изготовлен из сплава платины и иридия и хранится во французском городе Севре. На практике, кроме килограмма, используют и другие единицы массы — тонну (т), центнер (ц), грамм (г), миллиграмм (мг):

$$\begin{aligned} 1 \text{ т} &= 1000 \text{ кг}, & 1 \text{ г} &= 0,001 \text{ кг}, \\ 1 \text{ ц} &= 100 \text{ кг}, & 1 \text{ мг} &= 0,000001 \text{ кг}. \end{aligned}$$

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

Взвесить физическое тело — значит сравнить его массу с массой эталона.

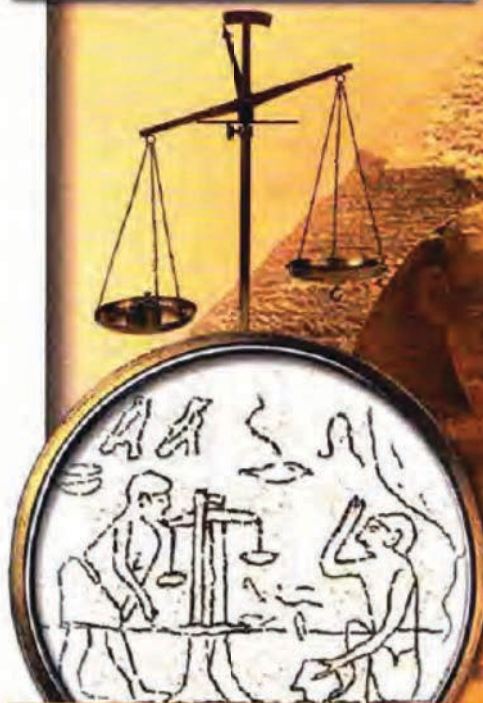
**В** Египте на пирамиде в Гизе высечено изображение равноплечих весов. Эта пирамида была построена при династии Хеопса, т. е. между 2930–2750 гг. до н. э.

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».

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 не пригодна для игры в большой теннис. Эти примеры подтверждают, что изменение скорости тела при взаимодействии зависит от массы тела.

Масса тела — это физическая величина, характеризующая меру его инертности. Массу принято обозначать латинской буквой *m*.



#### вопросы:

- В каком случае тело называют более инертным, а в каком — менее инертным?
- Какие способы определения массы вы знаете?
- Какова единица массы в СИ?



**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

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

**ВСПОМНИТЕ:**

- Что такое масса тела?
- Что такое объём тела?

Тела с равными массами, но изготовленные из разных веществ имеют разные объёмы.

Масса  $m = 100$  г

Лёд  
Объём  $V = 111$  см<sup>3</sup>

Железо  
Объём  $V = 13$  см<sup>3</sup>

Золото  
Объём  $V = 5$  см<sup>3</sup>

$V = 2$  м<sup>3</sup>  
 $m = 800$  кг

$V = 1$  м<sup>3</sup>

$$\rho = \frac{800}{2} = 400 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

**ПЛОТНОСТЬ И МАССА**

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 МАССЫ ТЕЛ** При помощи весов сравним массы двух цилиндров из железа, имеющих разные объёмы. Опыт показывает, что масса большего 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.*

Результаты поставленного эксперимента объясняются тем, что разные вещества имеют разную *плотность.*

**ПЛОТНОСТЬ** Плотность показывает, чему равна масса вещества в единице объёма (например, в 1 м<sup>3</sup> или в 1 см<sup>3</sup>).

**Плотность вещества**

Как найти плотность вещества?

Например, известно, что сосновый брусок объёмом 2 м<sup>3</sup> имеет массу 800 кг. Тогда брусок объёмом 1 м<sup>3</sup> будет иметь массу в 2 раза меньшую, т. е. 400 кг. Таким образом, плотность сосны равна 400 кг на 1 м<sup>3</sup>.



Итак, если известны масса тела и его объём, можно определить плотность.

**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»).

**ЕДИНИЦЫ ПЛОТНОСТИ** В Международной системе единиц (СИ) за единицу плотности принимают *килограмм на кубический метр* ( $1 \text{ кг/м}^3$ ). На практике также используют единицу *грамм на кубический сантиметр* ( $1 \text{ г/см}^3$ ):

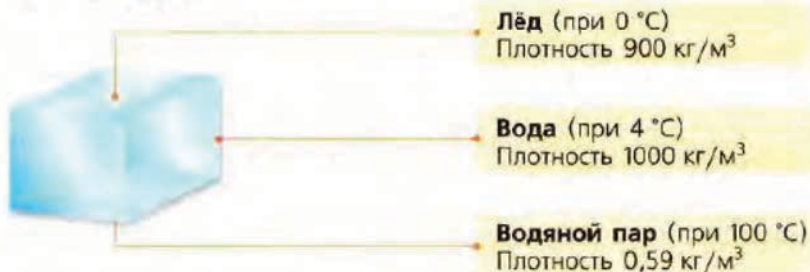
$$1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} = 1 \frac{0,001 \text{ кг}}{0,000001 \text{ м}^3} = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Так как все вещества состоят из атомов, то масса любого тела должна зависеть от массы атомов 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  $3,34 \cdot 10^{28}$  молекул.

Молекулы вещества находятся на разном расстоянии друг от друга в газообразном, жидком и твёрдом агрегатном состоянии. 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.

**ПЛОТНОСТИ ВЕЩЕСТВА ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ АГРЕГАТНЫХ СОСТОЯНИЙ** Плотность одного и того же вещества в твёрдом, жидком и газообразном состояниях различна. Плотность вещества зависит от внешних условий. Например, плотность газов существенно зависит от температуры.



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

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

Если известно, что в  $1 \text{ см}^3$  содержится  $1,35 \text{ г}$  мёда, то для того, чтобы подсчитать, сколько килограммов мёда содержится в кубическом метре, надо  $1,35$  умножить на  $1000$ . Таким образом, плотность мёда равна  $1350 \text{ кг/м}^3$ .

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

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

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

$$m = \rho V$$

#### ВОПРОСЫ:

- 1. Что такое плотность?
- 2. Как можно найти плотность вещества, зная его объём и массу?
- 3. Какова единица плотности в СИ?



## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

## ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Как решать задачи на расчёт скорости движения, времени движения и пути.
- Как решать задачи на расчёт средней скорости движения.
- Как решать задачи на расчёт ускорения.
- Как решать задачи на расчёт плотности вещества.



**ЗАДАЧА 1** Перелёт из Москвы в Санкт-Петербург самолёт Аэробус А319 осуществляет за 1 ч 25 мин. Расстояние между этими городами равно 645 км. Определите скорость самолёта в метрах в секунду и в километрах в час, считая его движение равномерным.

Запишем условие задачи и решим её.



Дано:  
 $s = 645 \text{ км}$   
 $t = 1 \text{ ч } 25 \text{ мин}$   
 $v = ?$

Решение:

Выразим расстояние между городами и время полёта в единицах СИ, т. е. километры переведём в метры, а часы и минуты — в секунды:

$$s = 645 \text{ км} = 645\,000 \text{ м},$$

$$t = 1 \text{ ч } 25 \text{ мин} = 85 \text{ мин} = 85 \cdot 60 \text{ с} = 5100 \text{ с}.$$

Теперь найдём скорость движения:

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

$$v = \frac{645\,000 \text{ м}}{5100 \text{ с}} \approx 126,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Выразим полученное значение скорости в километрах в час:

$$v = 126,5 \frac{\text{м}}{\text{с}} = \frac{0,1265 \text{ км}}{\frac{1}{3600} \text{ ч}} = 0,1265 \cdot 3600 \frac{\text{км}}{\text{ч}} = 455,4 \frac{\text{км}}{\text{ч}}.$$

Ответ:  $v = 455,4 \text{ км/ч}$ , или  $126,5 \text{ м/с}$ .

**ЗАДАЧА 2** Сколько времени понадобится самолёту (см. задачу 1) на перелёт из Москвы в Сочи, если он будет двигаться равномерно с такой же скоростью, как и в предыдущей задаче, а расстояние от Москвы до Сочи равно 1358 км?

Запишем условие задачи и решим её.



Дано:  
 $s = 1358 \text{ км}$   
 $v = 455,4 \text{ км/ч}$   
 $t = ?$

Решение:

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

$$t = \frac{1358 \text{ км}}{453,4 \frac{\text{км}}{\text{ч}}} \approx 3 \text{ ч}.$$

Ответ:  $t = 3 \text{ ч}$ .

**ЗАДАЧА 3** Из Москвы в Санкт-Петербург можно доехать на фирменном поезде. За первые 30 мин поезд преодолевает расстояние 30 км, за последующие 7 ч он проходит



590 км, а на оставшиеся 25 км поезд тратит 30 мин. Определите среднюю скорость поезда.

Запишем условие задачи и решим её.

3

Дано:

$$t_1 = 0,5 \text{ ч}$$

$$s_1 = 30 \text{ км}$$

$$t_2 = 7 \text{ ч}$$

$$s_2 = 590 \text{ км}$$

$$t_3 = 0,5 \text{ ч}$$

$$s_3 = 25 \text{ км}$$

$$v_{\text{ср}} = ?$$

Решение:

$$v_{\text{ср}} = \frac{s}{t};$$

$$s = s_1 + s_2 + s_3 = 30 + 590 + 25 = 645 \text{ км};$$

$$t = t_1 + t_2 + t_3 = 0,5 + 7 + 0,5 = 8 \text{ ч};$$

$$v_{\text{ср}} = \frac{645 \text{ км}}{8 \text{ ч}} \approx 80,6 \frac{\text{км}}{\text{ч}}.$$

Ответ:  $v_{\text{ср}} = 80,6 \text{ км/ч}$ , или  $22,4 \text{ м/с}$ .

**ЗАДАЧА 4** За первые 12 мин своего движения фирменный поезд Москва — Санкт-Петербург набирает скорость от 0 до 72 км/ч. Считая его движение равноускоренным, найдите значение ускорения.

Запишем условие задачи и решим её.

3

Дано:

$$t = 12 \text{ мин}$$

$$v_0 = 0 \text{ км/ч}$$

$$v = 72 \text{ км/ч}$$

$$a = ?$$

Решение:

Переведём данные задачи в единицы СИ:

$$t = 12 \text{ мин} = 12 \cdot 60 = 720 \text{ с};$$

$$v = 72 \frac{\text{км}}{\text{ч}} = \frac{72 \cdot 1000}{3600} = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Теперь найдём ускорение по формуле

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

$$a = \frac{20 - 0}{720} = \frac{20}{720} \frac{\text{м}}{\text{с}} \approx 0,028 \text{ м/с}^2.$$

Ответ:  $a = 0,028 \text{ м/с}^2$ .

**ЗАДАЧА 5** Найдите объём, который занимает мёд массой 300 г, если известно, что плотность мёда  $1,35 \text{ г/см}^3$ .

Запишем условие задачи и решим её.

3

Дано:

$$m = 300 \text{ г}$$

$$\rho = 1,35 \text{ г/см}^3$$

$$V = ?$$

Решение:

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

$$V = \frac{300 \text{ г}}{1,35 \text{ см}^3} \approx 222,2 \text{ см}^3.$$

Ответ:  $V = 222,2 \text{ см}^3$ .





## ПОДВЕДЕМ ИТОГИ

- 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.
- Скорость при равномерном движении тела показывает, какой путь проходит тело за единицу времени.
- Ускорение характеризует быстроту изменения скорости тела при равнопеременном движении.
- Изменение скорости тела (значения и направления) происходит в результате действия на него другого тела.
- Масса является мерой инертности тел.
- Плотность показывает, чему равна масса вещества в единице объёма.

РАВНОМЕРНОЕ

НЕРАВНОМЕРНОЕ

### МЕХАНИЧЕСКОЕ ДВИЖЕНИЕ

Скорость  $v = \frac{s}{t}$

Ускорение  $a = \frac{v - v_0}{t}$



Средняя скорость

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

#### «ПОДРОБНЕЕ...»

Липсон Г. Великие эксперименты в физике. — М.: Мир, 1978.

Перельман Я. И. Занимательная физика. Кн. 1. — М.: Римис, 2009.

Суорц К. Э. Необыкновенная физика обыкновенных явлений. Т. 1. — М.: Наука, 1986.

Тит Т. Продолжаем научные забавы: Интересные опыты, фокусы, самоделки. — М.: ИД Мещерякова, 2007.

#### ВОПРОСЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ:

- Известно, что тело за каждую последующую секунду проходит одинаковые пути. Можно ли на основании этого утверждать, что тело движется равномерно?
- При сплаве леса по рекам брёвна часто выносят на берег на поворотах реки. Объясните данное явление.
- 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?



# СИЛЫ ВОКРУГ НАС

- СИЛА
- СИЛА ТЯЖЕСТИ
- РАВНОДЕЙСТВУЮЩАЯ СИЛА
- СИЛА УПРУГОСТИ
- ЗАКОН ГУКА. ДИНАМОМЕТР
- ВЕС ТЕЛА. НЕВЕСОМОСТЬ
- СИЛА ТРЕНИЯ
- ТРЕНИЕ В ПРИРОДЕ И ТЕХНИКЕ



## КОРОТКО О ГЛАВНОМ...

Вся трудность физики состоит, по-видимому, в том, чтобы по явлениям движения распознать силы природы, а затем по этим силам объяснить остальные явления...

*Исаак Ньютон*



**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

- Что такое сила.
- Каковы единицы силы.

**ВСПОМНИТЕ:**

- Что такое научные термины?
- Что такое взаимодействие тел?
- Что является причиной изменения скорости тела?
- В каком случае тело движется равномерно, а в каком — неравномерно?



**Исаак Ньютон**  
(1642—1727)

Великий английский физик и математик, создавший теоретические основы механики и астрономии, открывший закон всемирного тяготения.



Когда одно тело действует на другое, то говорят, что *на тело действует сила* или *к нему 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 происходит сжатие пружины, изгиб упругого стального стержня и другие изменения формы и размеров тел. Тогда говорят, что тело *деформируется*.

**Деформацией** называют любое изменение формы и размера тела.

**СИЛА КАК МЕРА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ** В зависимости от силы удара мяч приобретёт 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 будет зависеть от её значения. Таким образом, **сила является мерой взаимодействия тел**.

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 мы уже знаем, 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. 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.

**В**первые понятие силы конкретизировал Галилей: в механическом движении сила есть причина ускорения тела. 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.





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 автомобиль. Хотя силы, действующие на машины, одинаковы по модулю (значению), но они направлены в противоположные стороны и результат различен: машины едут в разные стороны. Таким образом, *результат действия силы зависит от её направления*.



**ТОЧКА ПРИЛОЖЕНИЯ СИЛЫ** Когда говорят о силе, 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 зависит от точки приложения силы*.

**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 названа *ньютоном* (1 Н). На практике также применяют *килоньютоны* и *миллиньютонны*:

$$1 \text{ кН} = 1000 \text{ Н}, \quad 1 \text{ мН} = 0,001 \text{ Н}.$$

Результат действия силы на тело зависит от её модуля, направления и точки приложения.

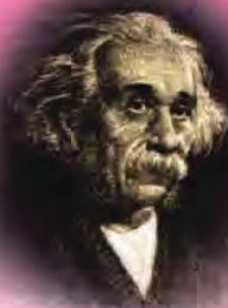
СИЛА

Модуль

Направление

Точка приложения

Силы можно изображать в виде стрелок. Длина этих стрелок должна соответствовать модулю силы: чем длиннее стрелка, тем больше значение силы.



**Альберт Эйнштейн**  
(1879—1955)

Физик-теоретик, один из основоположников современной физики. Известен прежде всего как автор теории относительности.

#### ВОПРОСЫ:

- Что является причиной изменения скорости тела?
- От чего зависит результат действия силы на тело?
- Всегда ли взаимодействие тел происходит при их непосредственном контакте?



**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

- Что такое всемирное тяготение.
- Что такое сила тяжести.
- Как рассчитать силу тяжести.

**ВСПОМНИТЕ:**

- Что такое сила?
- Каковы единицы силы?

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 г оказывает давление 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  $3 \cdot 10^{22}$  Н. Земля притягивает Луну, удерживая её на своей орбите. Но и Луна тоже притягивает Землю. Ведь приливы происходят из-за притяжения гидросферы Земли к Луне.

Считается, что сила тяжести приложена к телу, на которое она действует.

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 тела с наклонной башни.

Если мячик подбросить вверх, то через некоторое время он падает вниз. Капли дождя и снежинки также падают на землю. То же самое происходит и с любыми другими телами. Подпрыгнув вверх, человек обязательно опустится на землю. Почему происходит так, а не иначе?

**СИЛА ТЯЖЕСТИ** Для всех живущих на нашей планете особенно важное значение имеет сила притяжения тел к Земле. Силу, с которой Земля притягивает к себе тело, называют силой тяжести и обозначают  $\vec{F}_{\text{тяж}}$ . Сила тяжести всегда направлена вертикально вниз, к центру Земли.

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.

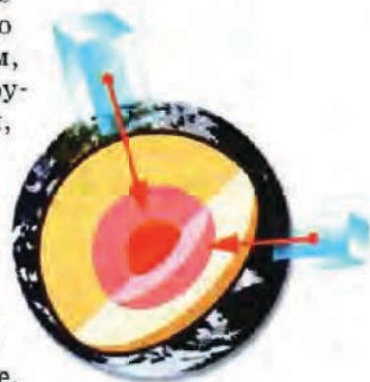
Установлено, что вблизи поверхности Земли на тело массой 1 кг действует сила тяжести, равная 9,8 Н. На тело, масса которого в 2 раза больше, действует сила 19,6 Н и т. д. Таким образом, чтобы определить силу тяжести, действующую на тело любой массы, необходимо 9,8 Н/кг умножить на массу этого тела, выраженную в килограммах.

$$F_{\text{тяж}} = 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot m.$$

**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 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**.

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.





Для такого опыта используют стеклянную трубку, один конец которой закрыт, а другой снабжён краном, через который из трубки можно откачать воздух. Такую трубку называют трубкой Ньютона.

Не откачивая воздух, поместим в неё перышко, кусочек пробки и дробинку. Если трубку резко перевернуть, все три предмета *a* упадут вниз в разные моменты времени. Теперь откачаем из трубки воздух. Если её быстро перевернуть, все три предмета *b* упадут на дно *одновременно*, так как все падающие вниз тела движутся с *одинаковым ускорением*.

**УСКОРЕНИЕ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ** Итак, 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, который связывает силу тяжести и массу тела. Таким образом, зная массу тела, можно определить силу тяжести, действующую на него:

$$F_{\text{тяж}} = mg. \quad (1)$$

Из формулы (1) следует, что

$$g = F_{\text{тяж}}/m. \quad (2)$$

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, *g* можно округлять, считая  $g = 10 \text{ м/с}^2$ .

### ЗАКОН ВСЕМИРНОГО ТЯГОТЕНИЯ

Английский учёный И. Ньютон сделал величайшее открытие. Он впервые понял, что притяжение различных тел к поверхности Земли, движение звёзд и планет подчиняется единому закону — **закону всемирного тяготения**.

Притяжение всех тел Вселенной друг к другу называют **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.



Если обозначить величины: сила тяжести —  $F_{\text{тяж}}$ , масса —  $m$  и ускорение свободного падения —  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ , то силу тяжести рассчитывают по формуле

$$F_{\text{тяж}} = mg.$$

### ВОПРОСЫ:

- Почему стрела, выпущенная из лука горизонтально, не летит прямолинейно?
- Что является причиной существования силы тяжести?
- Как определить силу тяжести?



## РАВНОДЕЙСТВУЮЩАЯ СИЛА

### ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Что такое равнодействующая сила.
- Как определить равнодействующую сил, направленных по одной прямой.

### ВСПОМНИТЕ:

- Что такое сила?
- Каковы единицы силы?



**РАВНОДЕЙСТВУЮЩАЯ СИЛА** Если на тело одновременно действует несколько сил, то их можно заменить одной силой, равноценной по своему действию этим силам.



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 его скорости движения. Чтобы понять, как будет двигаться тело, если на него действует сразу несколько сил, необходимо найти равнодействующую силу.

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.

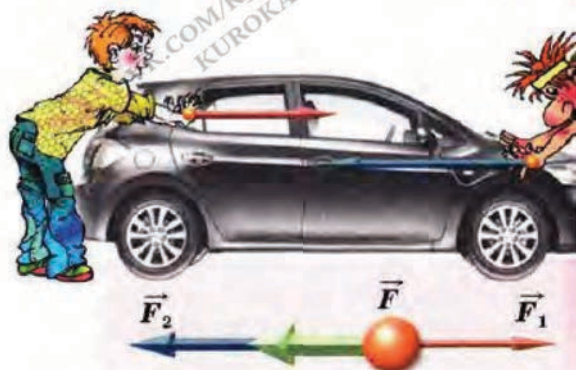
### РАВНОДЕЙСТВУЮЩАЯ ДВУХ СИЛ, НАПРАВЛЕННЫХ ПО ОДНОЙ ПРЯМОЙ

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. Подвесим к пружине два груза и отметим, насколько растянулась пружина. На пружину действует сила, равная сумме сил тяжести, действующих на каждый из грузов.

Теперь к той же пружине подвесим груз, масса которого равна сумме масс грузов, используемых ранее. При этом пружина растянется так же, как и в предыдущем случае.

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:*

$$F = F_2 - F_1. \quad (2)$$

**СОСТОЯНИЕ РАВНОВЕСИЯ** Чему будет равна равнодействующая двух сил, одинаковых по модулю и направленных в противоположные стороны?

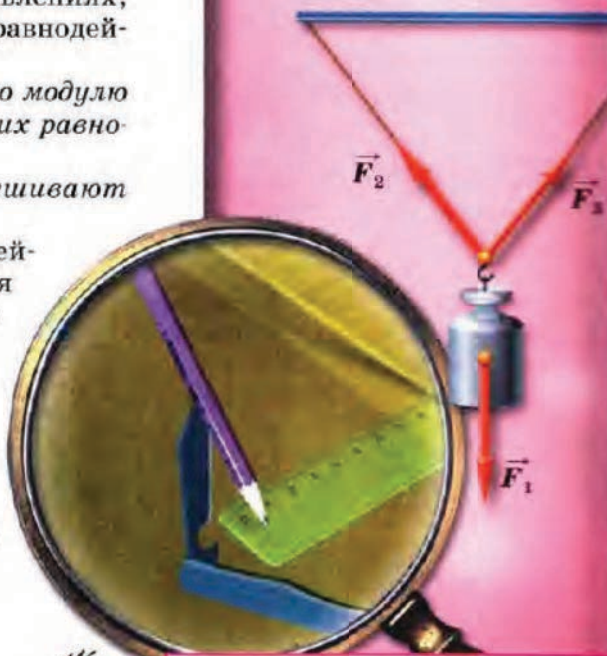
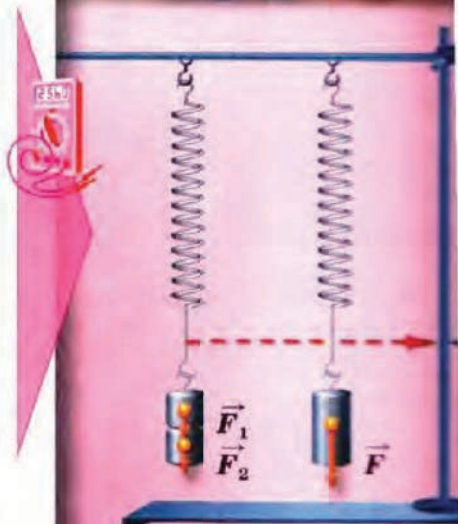
Если два человека начнут толкать некоторый предмет с одинаковой силой в противоположных направлениях, он не сдвинется с места. Согласно формуле (2) равнодействующая в этом случае будет равна нулю.

*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. При этом тело находится в состоянии равновесия.



### ВОПРОСЫ:

- Какую силу называют равнодействующей сил?
- Чему равна равнодействующая двух сил, направленных по одной прямой в одну сторону?
- Чему равна равнодействующая двух сил, направленных по одной прямой в разные стороны?

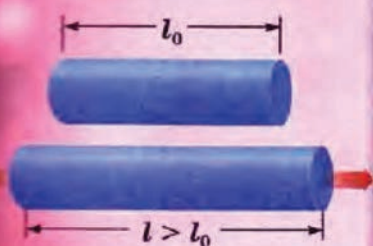


**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

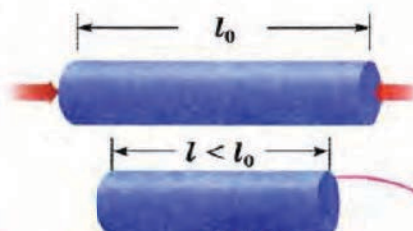
- 1 Что такое сила упругости.
- 2 Какие бывают виды деформации.

**ВСПОМНИТЕ:**

- 1 Что такое сила?
- 2 Каковы единицы силы?
- 3 Что такое сила тяжести?

**ДЕФОРМАЦИИ**

Растяжение



Сжатие



Сдвиг

**СИЛА УПРУГОСТИ**

Под действием силы тяжести падает подброшенный мячик, снег, капли дождя и другие тела. Но всё же 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, лежащую на двух опорах, положить тяжёлый кирпич, 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. Эту силу называют **силой упругости**. Сила упругости изображена стрелкой, приложенной к центру кирпича, хотя такое изображение является достаточно условным. В реальности сила упругости, действующая со стороны скамейки на кирпич, распределена по всей площади соприкосновения.

Итак, сила упругости — это сила, возникающая при деформации тела, стремящаяся вернуть тело в первоначальное состояние. Упругую силу, действующую на тело со стороны опоры, называют **силой реакции опоры**.

**ДЕФОРМАЦИИ** Взаимодействие тел часто приводит к их деформации, т. е. является причиной изменения формы и размеров тела. 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.

**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.

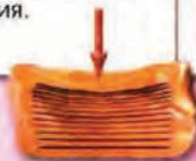
**Деформация изгиба** — деформация, при которой происходит растяжение внешних слоёв и сжатие внутренних слоёв тела, средний слой практически не деформируется. Деформации изгиба возникают при прогибе опоры. Чем больше прогибается опора, тем больше сила упругости.

**Деформация кручения** — это деформация, при которой слои тела сдвигаются относительно друг друга, поворачиваясь при этом вокруг своей оси.

**НАПРАВЛЕНИЕ СИЛЫ УПРУГОСТИ** Сила упругости *всегда направлена противоположно* той силе, которая вызвала изменение формы или размеров тела.

Сила упругости (сила реакции опоры) распределена по всему телу. Она зависит от вида деформации, и часто для разных слоёв тела её значение различно. Сила упругости изображена стрелкой, приложенной в точке подвеса гирьки к пружинке.

Причина деформации заключается в том, что при воздействии на тело различные части тела 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.



Кручение

**ВОПРОСЫ:**

- Когда возникает сила упругости?
- Что такое сила реакции опоры?
- Какие виды деформаций вы знаете?
- Какой вид деформации испытывают валы автомобиля, на которые насажены колёса?



**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

- Как формулируется закон Гука.
- Что такое коэффициент упругости пружины.
- Каким прибором измеряется сила.

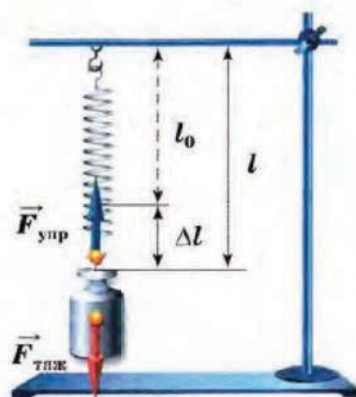
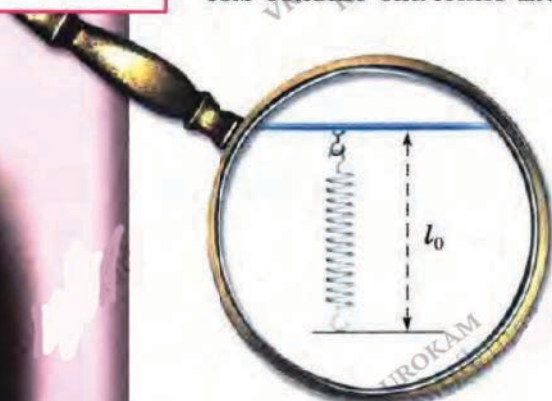
**ВСПОМНИТЕ:**

- Что такое сила?
- Каковы единицы силы?
- Что такое сила тяжести?
- Как рассчитать силу тяжести?
- Что такое сила упругости?

**ЗАКОН ГУКА.  
ДИНАМОМЕТР**

Английский физик Роберт Гук, современник И. Ньютона, в 1660 г. экспериментально установил, как зависит сила упругости от деформации.

**ЗАКОН ГУКА** Проведём следующий опыт. 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, компенсируется силой упругости, возникающей в пружине. Сила тяжести определяется по формуле  $F_{\text{тяж}} = mg$ . 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. ➔

**Роберт Гук**  
(1635—1703)

Английский естествоиспытатель, член Лондонского королевского общества. Круг его научных интересов был очень широк: теплота, механика, оптика, небесная механика.



Опыт подтверждает закон, названный в честь учёного, открывшего его, **законом Гука**: *модуль силы упругости при растяжении (или сжатии) тела прямо пропорционален изменению длины тела.*

Коэффициент пропорциональности в законе Гука называют **коэффициентом упругости** тела (стержня, пружины и т. п.). 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)**.

Если обозначить величины: сила упругости —  $F_{\text{упр}}$ , изменение длины тела —  $\Delta l$ , коэффициент упругости тела —  $k$ , то закон Гука можно записать так:

$$F_{\text{упр}} = k\Delta l.$$



**УПРУГАЯ И ПЛАСТИЧЕСКАЯ ДЕФОРМАЦИИ** Деформации, которые полностью исчезают, как только прекращается действие деформирующей силы, называют *упругими*. Деформации, которые не исчезают после прекращения действия деформирующей силы, называют *пластическими*. Если пружину 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 справедлив только для упругой деформации, для пластических деформаций он не выполняется. ➔

**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.

#### ГРАФИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЗАКОНА ГУКА

Простейший пружинный динамометр (динамометр Бакушинского) состоит из пружины с двумя крючками, укрепленной на дощечке. Дощечка снабжена шкалой, а к нижнему концу пружины прикреплен указатель.

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, которое в 9,8 раза легче. Масса этого тела 102 г. Под влиянием силы тяжести, действующей на груз, пружина динамометра растягивается на  $\Delta l_1 = 2,5$  см. Нанесём на график 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 график другой прямой (синего цвета), которая отличается от предыдущей углом наклона к оси абсцисс. Чем больше коэффициент упругости пружины, тем угол наклона больше.

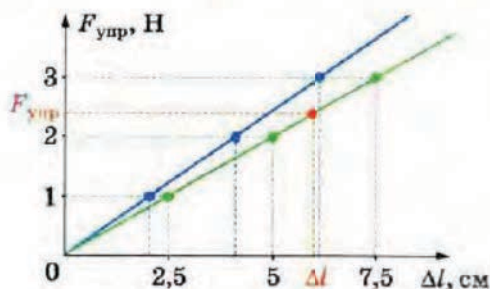
Механический динамометр



Силомер



Электронный динамометр



#### ВОПРОСЫ:

- От чего зависит коэффициент упругости тела?
- При каких условиях упругая деформация может превратиться в пластическую?



**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

- Что такое вес тела.
- Чем отличается вес тела от силы тяжести.
- Чем отличается вес тела от массы.
- Что такое невесомость.

**ВСПОМНИТЕ:**

- Что такое сила тяжести?
- Что такое сила упругости?
- Что такое динамометр?
- Что такое равнодействующая сила?
- Каковы единицы силы?

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.

**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.



Силу, с которой тело, находящееся под действием силы тяжести, действует на опору или подвес, называют *весом* тела.

Таким образом, на крючок динамометра действуют две силы: сила упругости пружины и вес 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:

$$P = F_{\text{упр.}}$$

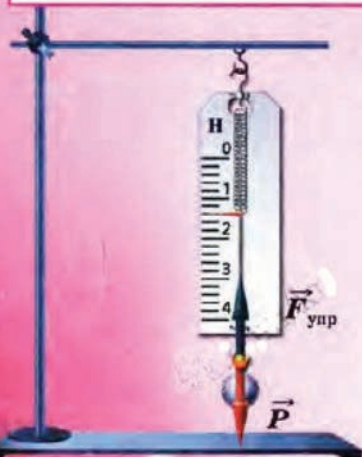
Именно поэтому говорят, что динамометром можно измерять не только силу упругости, но и вес тела. Динамометр также называют *пружинными весами*.

**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:

$$P = F_{\text{тяж.}} \text{ или } P = mg.$$

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*.



Если обозначить величины: вес тела —  $P$ , масса —  $m$  и ускорение свободного падения —  $g$ , то вес тела рассчитывают по формуле

$$P = mg.$$





**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 тела, которая измеряется в килограммах и является скалярной величиной, т. е. величиной, не имеющей направления и точки приложения. Так, ребёнок, имеющий массу 30 кг, имеет вес, равный 300 Н, если считать, что  $g = 10 \text{ Н/кг}$ .

**ЗАВИСИМОСТЬ ВЕСА ОТ УСЛОВИЙ, В КОТОРЫХ НАХОДИТСЯ**

**ТЕЛО** Вес тела равен по своему числовому значению силе тяжести, если тело находится на неподвижной опоре или опора движется равномерно и прямолинейно. Если же опора 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 равным нулю.

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 движении лифта вверх вес тела увеличивается, а при движении вниз — уменьшается. Этот факт можно проверить, если подняться или опуститься в лифте стоя на весах.

**НЕВЕСОМОСТЬ** Проведём следующий опыт. Подвесим за нитку пружину, а к ней прикрепим груз. В результате пружина растянется. Теперь перережем нить и наблюдаем 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 этот момент 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 спутнике, обращающемся вокруг Земли. Сам спутник и все находящиеся в нём тела, включая космонавта, обращаясь вокруг Земли, как бы непрерывно свободно падают на Землю. Вследствие этого, все находящиеся на спутнике 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 он испытывает сильные перегрузки.

**МОИ ФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**



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!



**ВОПРОСЫ:**

- Рычажные весы, на которых уравновешено тело, начинают свободно падать. Сохранится ли равновесие весов?
- Чем отличается вес тела от массы?
- При каком условии вес тела не равен силе тяжести?

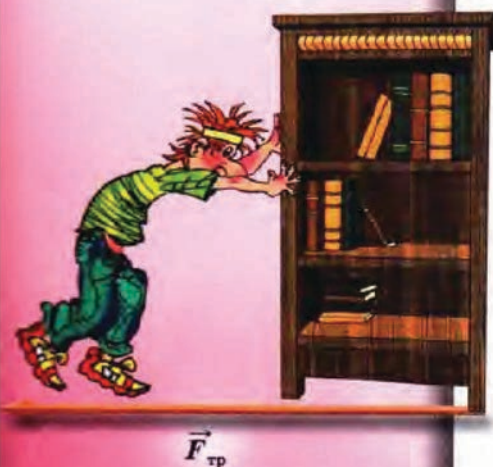


**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

- Что такое сила трения.
- Каковы причины возникновения силы трения.
- Как можно уменьшить силу трения.
- Какие виды трения существуют.

**ВСПОМНИТЕ:**

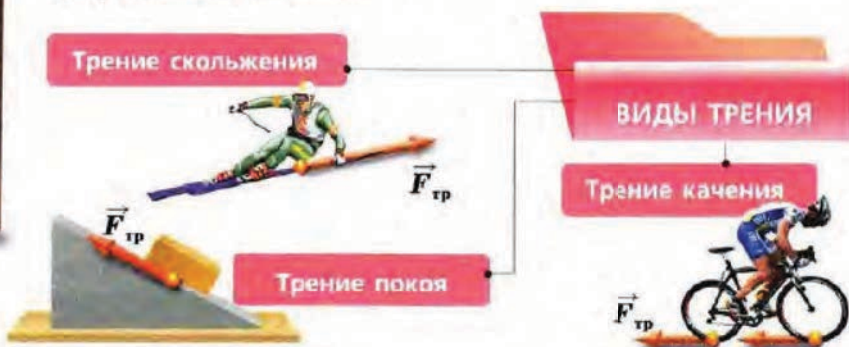
- Что такое сила?
- Каковы единицы силы?



**СИЛА ТРЕНИЯ** В рассмотренном примере на машинку действует сила, обусловленная соприкосновением колёс машинки с полом и препятствующая её движению.

Силу, возникающую между поверхностями соприкасающихся тел и препятствующую их относительному перемещению, называют **силой трения**.

**ВИДЫ ТРЕНИЯ** Различают три вида трения: скольжения, качения и покоя.



На книгу, край которой чуть-чуть приподнят, положим ручку или 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.

**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 перекачивании 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.





Многочисленные опыты подтверждают, что *при равных нагрузках сила трения качения всегда меньше силы трения скольжения.*

Прикрепим динамометр к бруску и попытаемся сдвинуть его с места. 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.

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. Она окажется существенно меньше силы трения скольжения.

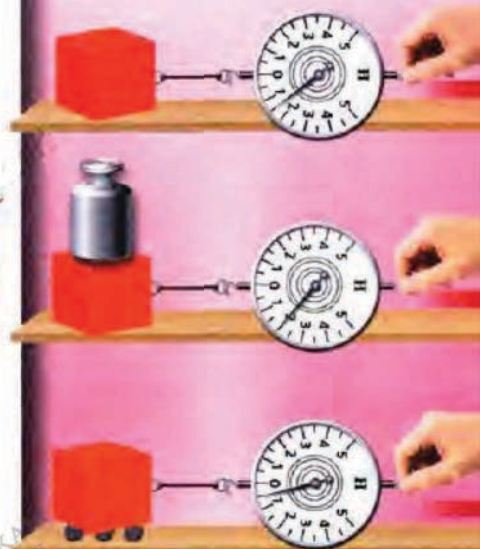


**В** истории человечества Леонардо да Винчи заслуживает звания универсального гения. Среди его бесчисленных научных достижений и первая формулировка законов трения. Ещё в 1519 г. он утверждал, что сила трения, возникающая при контакте тела с поверхностью другого тела, пропорциональна нагрузке (силе прижатия), направлена против направления движения и не зависит от площади контакта. Закон Леонардо был переоткрыт через 180 лет Г. Амонтоном и получил окончательную формулировку в работах Ш. О. Кулона (1781).

**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 часть молекул первого и второго тела располагается очень близко друг к другу и сила трения возникает из-за притяжения молекул 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.



**Леонардо да Винчи**  
(1452—1519)

Великий итальянский живописец, скульптор, архитектор и инженер.

### ВОПРОСЫ:

- Всегда ли сила трения замедляет движение тела?
- Можно ли кататься на коньках по отполированному мраморному полу?
- Тело лежит на шероховатой горизонтальной поверхности. Действует ли на тело сила трения покоя?
- В чём заключаются причины возникновения трения?
- Какими способами можно уменьшить трение скольжения?



## ТРЕНИЕ В ПРИРОДЕ И ТЕХНИКЕ

### ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Какова роль трения в природе.
- Какова роль трения в технике.

### ВСПОМНИТЕ:

- Что такое сила трения?
- Какие виды трения существуют?
- Как можно уменьшить силу трения?

В природе и технике трение имеет огромное значение. Не будь силы трения, мы не смогли бы ни ходить по земле, ни удерживать в руках предметы. Такие древнейшие изобретения человечества, как добывание огня и колесо, связаны с силой трения. 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».

**ТРЕНИЕ В ПРИРОДЕ** 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 либо заострениями на конечностях, либо мелкими неровностями, например щетинками, чешуйками, бугорками.

Из-за наличия силы трения покоя мы удерживаем предметы, и они не выскальзывают из рук. У многих растений и животных для хватания имеются различные органы, имеющие шероховатую поверхность, увеличивающую силу трения. Это усики растений, хобот слона, цепкие хвосты лазающих животных.

**ДОБЫВАНИЕ ОГНЯ** Одним из самых важных открытий в истории человечества по праву можно считать открытие способа добывать огонь. Наши древние предки добывали огонь при помощи трения одного куска сухого дерева о другое, что осуществлялось вращением одной палочки по поверхности другой. В наше время сохранились племена, которые по-прежнему добывают огонь этим способом. При участии трения происходит процесс возгорания головки спички.

**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. Действие колеса, посаженного на ось, основано на том, что сила трения качения существенно меньше силы трения скольжения. Это открытие послужило толчком как для развития техники и ремёсел, так и для развития науки.

**ПОДШИПНИК** Если в техническом устройстве есть движущиеся части, то часто необходимо уменьшить силу трения между ними.

Устройства, служащие опорами движущихся частей машин и других механизмов и уменьшающие трение, называют 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 *a* 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 *б* и роликовые *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 движутся ровнее обычных лодок, поскольку движутся они не сквозь волну, 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.



Кроме задачи уменьшения силы трения, в технике часто возникает задача её резкого увеличения. Например, при необходимости замедлить движение автомобиля это делается за счёт резкого увеличения силы трения с помощью механизма, который называют **тормоз**. При движении тел в жидких и газообразных средах возникает трение, называемое «вязким», которое существенно меньше сил «сухого» трения.



#### ВОПРОСЫ:

- 1. Какие можно привести примеры использования силы трения?
- 2. Как уменьшают силу трения в технических устройствах?
- 3. Почему при перемещении тяжёлого шкафа под его ножки подкладывают пустые пластиковые бутылки?



## СИЛА ТРЕНИЯ

$$F_{\text{тяж}} = mg$$



## СИЛА ТЯЖЕСТИ

$$F_{\text{упр}} = k\Delta l$$



## СИЛА УПРУГОСТИ

$$P = mg$$



## ВЕС ТЕЛА

Равнодействующая сила

$$F = F_1 + F_2$$

$$F = F_2 - F_1$$

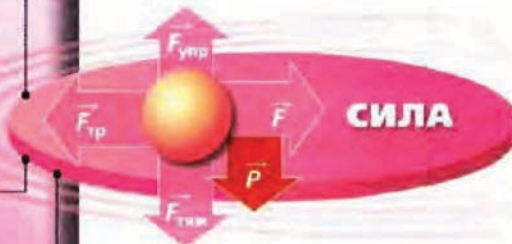


Международный научно-образовательный интернет-журнал для школьников  
<http://oscteam.com>

Музей науки в Бостоне  
<http://www.mos.org>

## ПОДВЕДЕМ ИТОГИ

- Когда одно тело действует на другое, то говорят, что на него действует сила. Именно поэтому сила является мерой взаимодействия тел.
- Сила, действующая на тело, может не только изменить скорость тела, но и деформировать его.
- Всемирное тяготение — это притяжение всех тел Вселенной друг к другу.
- Земля притягивает к себе все тела с силой, называемой силой тяжести.
- Сила упругости — это сила, возникающая при деформации тела, стремящаяся вернуть его в первоначальное состояние.
- Прибор для измерения силы называют динамометром.
- Силу, с которой тело действует на опору или подвес, называют весом тела.
- Силу, возникающую между поверхностями соприкасающихся тел и препятствующую их относительному перемещению, называют силой трения.



Направление

Точка приложения

Модуль

## «ПОДРОБНЕЕ...»

- Енохович А. С. Справочник по физике и технике: Учеб. пособие для учащихся. — М.: Просвещение, 1989.
- Перельман Я. И. Занимательная физика. Кн. 2. — М.: Римис, 2009.
- Хилкевич С. С. Физика вокруг нас. Библиотечка «Квант». Вып. 40. — М.: Наука, 1985.

## 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?





# ДАВЛЕНИЕ ТВЁРДЫХ ТЕЛ, ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

- ДАВЛЕНИЕ
- СПОСОБЫ УВЕЛИЧЕНИЯ И УМЕНЬШЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ
- ПРИРОДА ДАВЛЕНИЯ ГАЗОВ И ЖИДКОСТЕЙ
- ДАВЛЕНИЕ В ЖИДКОСТИ И ГАЗЕ. ЗАКОН ПАСКАЛЯ
- РАСЧЁТ ДАВЛЕНИЯ ЖИДКОСТИ НА ДНО И СТЕНКИ СОСУДА
- СООБЩАЮЩИЕСЯ СОСУДЫ
- ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАВЛЕНИЯ В ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ



## КОРОТКО О ГЛАВНОМ...

Сила, нужная для того, чтобы воспрепятствовать воде вытекать из отверстия, пропорциональна высоте стояния воды, а не ширине сосуда. Мерой этой силы всегда является вес воды, заключённой в колонке её, с высотой, равной высоте стояния воды, и основанием, равным величине отверстия. То, что я сказал о воде, относится и ко всем другим видам жидкостей.

*Блез Паскаль*

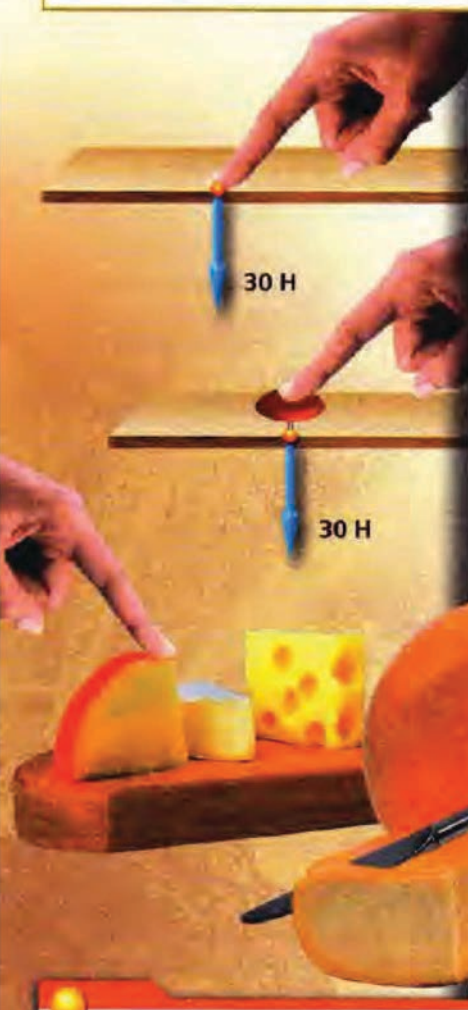


**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

- Что такое давление.
- Как называют единицы давления.
- Как можно вычислить давление.

**ВСПОМНИТЕ:**

- Что такое сила?
- От чего зависит результат действия силы на тело?
- Что происходит при взаимодействии тел друг с другом?

**ДАВЛЕНИЕ**

Результат действия силы на тело в некоторых ситуациях зависит не только от её модуля, направления и точки приложения, но и от того, к какой площади поверхности она приложена.

**ДАВЛЕНИЕ** Можно достаточно сильно надавить пальцем на поверхность деревянной доски, но никаких видимых деформаций мы не заметим. Если же надавить на кнопку с той же силой, то острый конец кнопки легко войдёт в поверхность дерева.

Если с одинаковой силой надавить на кусок сыра пальцем и ножом, то в первом случае деформация мала, а во втором случае сыр будет разрезан. Причина происходящего в том, что различаются площади поверхности, на которую оказывается давление. Площадь лезвия ножа во много раз меньше площади подушечки пальца, и именно поэтому так различаются результаты действия приложенной силы.



Приведённые примеры свидетельствуют о том, что результат действия силы может зависеть и от того, какая сила действует на каждую единицу площади поверхности тела. При этом во всех рассмотренных примерах речь шла о силе, приложенной к опоре и направленной перпендикулярно её поверхности.

Следовательно, результат действия силы зависит не только от её значения, направления и точки приложения, но и от площади той поверхности, перпендикулярно которой она действует.

В рассмотренных примерах и кнопка, и нож концентрируют действие силы на малой площади. Существуют и обратные примеры, когда действие силы уменьшается за счёт увеличения площади поверхности, перпендикулярно которой она действует. Так, например, для езды по заболоченной местности используют вездеходы, а для езды по снегу — снегоходы. Гусеницы вездехода и лыжи снегохода служат для увеличения площади опоры, на которую действует вес тела.

Физическую величину, характеризующую действие силы, приложенной перпендикулярно к поверхности, на которую она действует, называют давлением.

Давление равно отношению силы, действующей перпендикулярно поверхности, к площади этой поверхности.

$$\text{Давление} = \frac{\text{сила}}{\text{площадь}}$$

Если обозначить величины: давление —  $p$ , сила, действующая на поверхность —  $F$  и площадь поверхности —  $S$ , то давление рассчитывают по формуле

$$p = \frac{F}{S}$$



**ЕДИНИЦЫ ДАВЛЕНИЯ** За единицу давления принимают такое давление, которое производит сила 1 Н, действующая на поверхность площадью 1 м<sup>2</sup> перпендикулярно этой поверхности.

Единицу давления — *ньютон на квадратный метр* (1 Н/м<sup>2</sup>) — называют *паскалем* (Па) в честь французского учёного Блеза Паскаля.

$$1 \text{ Па} = 1 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}.$$

На практике используют также и другие единицы давления.

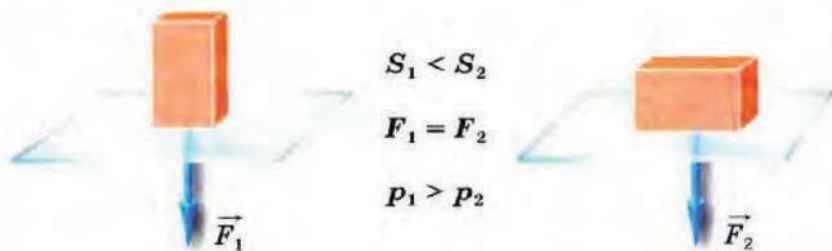
*Килопаскаль* (кПа):

$$1 \text{ кПа} = 1000 \text{ Па}, \quad 1 \text{ Па} = 0,001 \text{ кПа}.$$

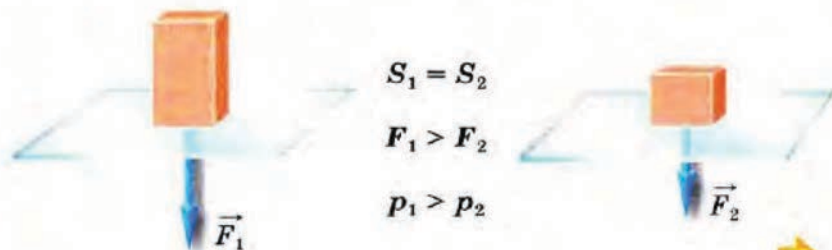
*Гектопаскаль* (гПа):

$$1 \text{ гПа} = 100 \text{ Па}, \quad 1 \text{ Па} = 0,01 \text{ гПа}.$$

**ИЗМЕНЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ** При одной и той же действующей силе давление тем больше, чем меньше площадь, на которую действует сила. И наоборот, при увеличении площади, на которую действует сила, давление уменьшается.



При одной и той же площади, на которую действует сила, с увеличением силы давление увеличивается, а с уменьшением силы давление уменьшается.



Оценим давление, равное 1 Па. Такое давление оказывает сила 1 Н (1 Н — это примерно вес гирьки массой 100 г) на поверхность площадью 1 м<sup>2</sup>.

Можно также сказать, что давление 1 Па создаёт груз массой 1 г на поверхность площадью 100 см<sup>2</sup>. Такое давление оказывает листок бумаги на ладонь, т. е. 1 Па — это очень маленькая величина.



**Блез Паскаль**

(1623—1662)

Французский религиозный философ, писатель, математик и физик.

Работы Паскаля охватывают самые разные области. Он является одним из создателей математического анализа, проективной геометрии, теории вероятностей, гидростатики, создателем механического счётного устройства — «паскалева колеса», как говорили современники.



#### ВОПРОСЫ:

- Как изменится давление человека на пол кабины лифта, если лифт начнёт с ускорением двигаться вверх?
- Почему человек, идущий на лыжах, не проваливается в снег?



**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

- Как можно увеличить и уменьшить давление.
- Как решать простейшие задачи по расчёту давления.

**ВСПОМНИТЕ:**

- Что такое давление?
- Как зависит давление от силы и площади поверхности?
- Как называют единицу давления?



## СПОСОБЫ УВЕЛИЧЕНИЯ И УМЕНЬШЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ

Мы уже знаем, что, чем больше площадь опоры, тем меньше давление, производимое одной и той же силой, действующей перпендикулярно, на эту опору.

**РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ**

**1** Человек, идущий по тонкому льду, проваливается в воду и просит о помощи. В такой ситуации спасатель подползает до образовавшейся проруби по-пластунски и помогает пострадавшему выбраться из воды. После этого оба добираются до берега также ползком, не вставая на ноги. Почему? Определим, какое давление оказывает на лёд человек массой 65 кг стоя, если площадь его опоры в ботинках равна 0,07 м<sup>2</sup>, и лёжа, если площадь его опоры равна 0,7 м<sup>2</sup>.

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:  
 $m = 65 \text{ кг}$   
 $S_1 = 0,07 \text{ м}^2$   
 $S_2 = 0,7 \text{ м}^2$

$p_1 = ?$   
 $p_2 = ?$

Решение:

Для определения давления воспользуемся формулой

$$p = \frac{F}{S}$$

Сила  $F$ , с которой человек действует на опору, равна его весу ( $F = P$ ):

$$P = mg = 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 65 \text{ кг} \approx 637 \text{ Н.}$$

Определим давление  $p_1$ , которое оказывает на опору человек стоя **a** :

$$p_1 = \frac{F}{S_1} = \frac{637 \text{ Н}}{0,07 \text{ м}^2} = 9100 \text{ Па.}$$

Давление  $p_2$ , которое оказывает человек лёжа **б**, равно

$$p_2 = \frac{F}{S_2} = \frac{637 \text{ Н}}{0,7 \text{ м}^2} = 910 \text{ Па.}$$

Видно, что давление, которое оказывает стоящий на льду человек, в 10 раз больше давления, оказываемого им на лёд лёжа.

**2** С какой силой оса вонзает своё жало в кожу человека, если площадь острия жала 0,00000000003 см<sup>2</sup>, а производимое им давление 3 · 10<sup>10</sup> Па?





Решение:

Сила определяется по формуле  $F = pS$ , тогда

$$F = 3 \cdot 10^{10} \text{ Па} \cdot 3 \cdot 10^{-16} \text{ м}^2 = 0,000009 \text{ Н}.$$

Видно, что в результате уменьшения площади одной из соприкасающихся поверхностей небольшой силой можно создать достаточно большое давление.



**Жало осы** оказывает на поверхность кожи давление, сопоставимое с давлением груза массой в десятки тонн на один квадратный сантиметр! Чтобы получать такие же сверхвысокие давления для научно-исследовательских и промышленных целей (например, для получения искусственных алмазов), учёным приходится создавать очень сложные и громоздкие установки.



**УВЕЛИЧЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ** Когда необходимо, чтобы давление было большим, площадь опоры уменьшают и тем самым увеличивают давление. Лезвие режущих и остриё колющих инструментов остро оттачивают. Острое лезвие имеет маленькую площадь, поэтому, прикладывая даже малую силу, можно создавать большое давление. Так, резать хлеб острым ножом легче, чем тупым; копать легче острой лопатой, чем тупой.

Площадь острия кнопки примерно  $0,01 \text{ мм}^2$ . Если давить на кнопку с силой  $30 \text{ Н}$ , давление, производимое кнопкой на доску, будет равно  $3\,000\,000\,000 \text{ Па}$ .

#### УВЕЛИЧЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ



#### УМЕНЬШЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ



**УМЕНЬШЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ** В технике и в повседневной жизни часто встречаются случаи, когда давление должно быть небольшим. Например, сельскохозяйственные машины не должны сильно давить на почву, чтобы не разрушать её структуру. Поэтому комбайны и сеялки делают с большими колесами, а тракторы — на гусеничном ходу. Машины, которые должны работать в сыпучих песках, имеют широкие шины. Чтобы грунт мог выдержать давление возводимого здания, увеличивают площадь нижней части фундамента.

#### ВОПРОСЫ:

- Какими способами можно увеличить давление, а какими — уменьшить?
- Какие примеры использования больших площадей опоры для уменьшения давления вы можете привести?
- Для чего у рюкзаков делают широкие лямки?



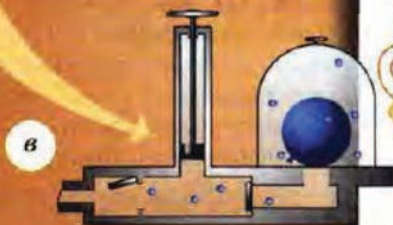
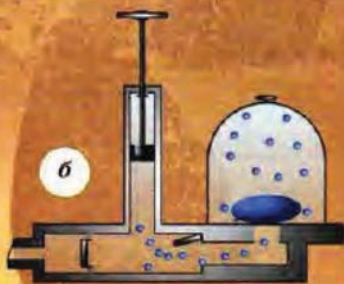
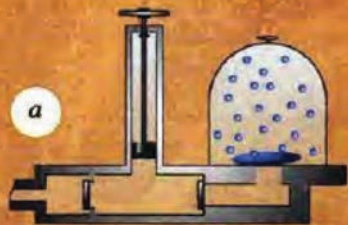


**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

- Как возникает давление в газе.
- От чего зависит давление газа.
- Как возникает давление в жидкости и от чего оно зависит.

**ВСПОМНИТЕ:**

- Что такое давление?
- Каковы различия в строении газов, жидкостей и твёрдых тел?

**ПРИРОДА ДАВЛЕНИЯ ГАЗОВ И ЖИДКОСТЕЙ**

Твёрдые тела передают давление в направлении действия силы. В жидкостях и газах давление передаётся совершенно иначе. Почему?

**РАЗЛИЧИЯ В ПРИРОДЕ ДАВЛЕНИЯ ТВЁРДЫХ ТЕЛ И ГАЗОВ**

Так как физические свойства газов отличаются от физических свойств твёрдых тел, то и природа давления газа иная, нежели природа давления твёрдого тела на опору.

В большинстве твёрдых тел атомы и молекулы расположены в определённом порядке и образуют прочную кристаллическую структуру. Они ограничены в своём движении и колеблются около некоторого положения равновесия. Поэтому сила, действующая на твёрдое тело, и передаётся в направлении действия этой силы.

В случае с газами дело обстоит по-другому. Для наглядного представления о том, как ведут себя молекулы газа в сосуде, Р. Фейнман в своих «Лекциях по физике» приводит пример комнаты, в которой множество теннисных мячей беспорядочно и непрерывно движутся повсюду, ударяя о стены. Градом ударов мячей создаётся давление, под действием которого стенки разойдутся, если их не придерживать.

**ДАВЛЕНИЕ ГАЗА** Выполним опыт: перевернём вверх дном стакан и попытаемся опустить его в воду. Вода в стакан полностью не войдёт, поскольку он заполнен воздухом, а воздух оказывает давление на воду.



Находясь в непрерывном движении, молекулы газа сталкиваются друг с другом и со стенками сосуда, в котором находятся.

Размеры отдельной молекулы газа очень малы, мала и сила её удара. Но число молекул газа в сосуде при обычных условиях огромно (в  $1 \text{ см}^3$  содержится примерно  $10^{19}$  молекул). В экспериментах мы изучаем результат суммарного действия этого огромного количества молекул.

Давление газа на стенки сосуда (и на помещённое в газ тело) вызывается ударами молекул газа.

Под колокол воздушного насоса поместим завязанный резиновый шарик *a*. Он содержит небольшое количество воздуха. Будем откачивать насосом воздух из-под колокола. Вокруг оболочки шарика воздух становится всё более разреженным, и шарик, раздуваясь *б*, принимает форму шара *в*. Как объяснить этот опыт?



Движущиеся молекулы газа непрерывно ударяются о стенки шарика внутри и снаружи. При откачивании воздуха число молекул вокруг оболочки шарика уменьшается, но внутри их число не изменяется. Поэтому число ударов молекул воздуха о внешнюю поверхность шарика становится меньше, чем число ударов о внутреннюю поверхность. Объём шарика растёт до тех пор, пока сила давления воздуха внутри шарика не сравняется с силой упругости оболочки. При этом оболочка шарика принимает форму шара, т. е. газ оказывает давление на её стенки по всем направлениям одинаково. Иначе говоря, число ударов молекул, приходящихся на каждый квадратный сантиметр площади поверхности, по всем направлениям одинаково.

**ОТ ЧЕГО ЗАВИСИТ ДАВЛЕНИЕ ГАЗА** Для того чтобы повысить давление газа, надо либо увеличить количество ударов молекул о стенки сосуда, либо увеличить силу этих ударов, либо сделать то и другое одновременно.

Чтобы увеличить количество молекул в сосуде при заданной температуре, можно добавить в него ещё некоторое количество газа, т. е. увеличить массу газа. При этом давление газа в сосуде возрастёт.

Если уменьшить объём газа, не изменяя его массу, то в каждом кубическом сантиметре газа молекул станет больше, т. е. плотность газа увеличится. При этом число ударов молекул о стенки сосуда возрастёт, и, следовательно, давление газа увеличится.

Скорость движения молекул газа при нагревании увеличивается. Двигаясь быстрее, молекулы ударяются о стенки сосуда чаще. Каждый удар молекулы о стенку сосуда становится сильнее. Вследствие этого стенки сосуда испытывают большее давление.

**ДАВЛЕНИЕ В ЖИДКОСТИ** Подвижность частиц газов и жидкостей является причиной того, что давление в них передаётся не только в направлении действия силы, но и по всем направлениям.

Кроме того, под действием силы тяжести каждый выпелегающий слой жидкости своим весом оказывает давление на нижележащие слои. Внутри жидкости всегда существует давление, которое называют гидростатическим.

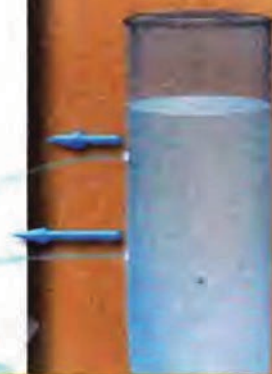
**ОТ ЧЕГО ЗАВИСИТ ДАВЛЕНИЕ ЖИДКОСТИ**

В жидкости каждый слой давит на все нижележащие слои, и давление на нижний слой обуславливается весом всех верхних слоёв. Возьмём высокий сосуд, в котором на боковой поверхности на разных высотах сделаны два отверстия. Закроем их и наполним сосуд водой. Затем откроем отверстия. Напор вытекающей воды уменьшается с понижением уровня воды в сосуде, что говорит об уменьшении давления в жидкости.

Нагреем колбу с плотно вставленной в её горлышко резиновой пробкой. При нагревании давление газа в колбе будет постепенно возрастать до тех пор, пока пробка не вылетит из колбы.



**В**  $1\text{ см}^3$  воды содержится примерно  $10^{22}$  молекул, что в 1000 раз больше, чем число молекул воздуха в этом же объёме.



**ВОПРОСЫ:**

- Чем вызвано давление газа?
- Как изменяется давление газа при его нагревании и сжатии?
- Как изменяется давление жидкости с увеличением глубины?



**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

- Формулировку закона Паскаля.
- Физический смысл закона Паскаля.

**ВСПОМНИТЕ:**

- Как возникает давление в газе и от чего оно зависит?
- Как возникает давление в жидкости и от чего оно зависит?

**ДАВЛЕНИЕ В ЖИДКОСТИ И ГАЗЕ. ЗАКОН ПАСКАЛЯ**

Как передаётся давление в жидкости или газе, если на них оказывается внешнее давление?

**ШАР ПАСКАЛЯ** Проведём опыт, используя *шар Паскаля*, который представляет собой полый шар с множеством маленьких отверстий. К шару присоединена трубка с поршнем.

Наполним шар водой и нажмём на поршень, чтобы увеличить в нём давление. Вода будет выливаться не только через отверстие, которое находится на линии действия прилагаемой нами силы, но и через все остальные отверстия тоже.

Такой же результат получится, если шар заполнить дымом. При нажатии на поршень из всех отверстий шара будут выходить одинаковые струйки дыма. Дым тоже будет передавать производимое на него давление в любую точку одинаково по всем направлениям.

**ЗАКОН ПАСКАЛЯ** Эти опыты свидетельствуют о том, что давление, которое мы создаём, действуя поршнем на поверхность воды в трубке, передаётся водой по всем направлениям.

**Давление, производимое на жидкость или газ, передаётся в любую точку одинаково во всех направлениях.**

Этот закон был установлен в 1653 г. французским физиком и математиком *Блезом Паскалем* и носит его имя.

Передача давления жидкостями и газами объясняется достаточно высокой подвижностью их молекул. Именно поэтому слои и частицы жидкостей и газов могут легко перемещаться относительно друг друга по всем направлениям.



**В** быту мы часто сталкиваемся с примерами, подтверждающими действие закона Паскаля. Так, например, вода, поступающая в лейку душа или в наконечник обычной садовой лейки, выливается через все отверстия с одинаковым напором.





Именно из-за того, что закон Паскаля справедлив для газов, мы можем при помощи насоса надуть круги и матрасы для плавания самой разнообразной формы.

Сначала воздух, находящийся в надуваемом предмете непосредственно около насоса, будет сжиматься, частицы газа расположатся в этом месте более плотно, чем прежде. Но через некоторое время вследствие постоянного движения молекул газ вновь распределится по всему телу равномерно, но плотнее. При этом одинаково возрастёт число ударов молекул на все внутренние поверхности надуваемого предмета. Вследствие этого давление, производимое газом, возрастает, причём в каждой точке оно возрастает на одно и то же значение.

**ДАВЛЕНИЕ В ЖИДКОСТИ** При помощи опыта исследуем, как давление в жидкости меняется с глубиной. Возьмём стеклянную трубку с боковым отверстием, у которой и дно, и боковое отверстие закрыты резиновой плёнкой.

Нальём в эту трубку воду. Под действием веса жидкости плёнка прогибается, и чем выше столб воды, тем больше прогибается плёнка.

После того, как плёнка прогнулась, уровень воды в трубке приходит в равновесие, так как, кроме силы тяжести, на воду действует сила упругости растянутой резиновой плёнки. Плёнка, закрывающая дно трубки, прогибается сильнее, чем плёнка, закрывающая боковое отверстие.

Опустим нашу трубку с водой в широкий сосуд, также наполненный водой. По мере опускания трубки резиновая плёнка постепенно выпрямляется. Полное выпрямление плёнки показывает, что силы, действующие на неё сверху и снизу, равны. При этом уровни воды в трубке и сосуде совпадают. Это означает, что силы, действующие на плёнку, одинаковы с обеих сторон.

Если продолжить погружение сосуда, плёнка начнёт выгибаться внутрь, что свидетельствует о том, что сила, действующая на неё снаружи, превосходит силу, действующую изнутри.

Итак, опыт показал, что **внутри жидкости существует давление и на одном и том же уровне оно одинаково по всем направлениям. С глубиной давление увеличивается.**



#### ВОПРОСЫ:

- Как формулируется закон Паскаля?
- Справедлив ли закон Паскаля для твёрдых тел? Почему?
- Приведите пример опыта, показывающего, что внутри жидкости существует давление.
- Приведите пример опыта, показывающего, что на одном и том же уровне давление одинаково.
- Приведите пример опыта, показывающего, что с глубиной давление увеличивается.



## РАСЧЁТ ДАВЛЕНИЯ ЖИДКОСТИ НА ДНО И СТЕНКИ СОСУДА

### ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Что такое гидростатическое давление.
- Как рассчитать давление жидкости на дно сосуда.
- Как рассчитать давление жидкости на стенки сосуда.

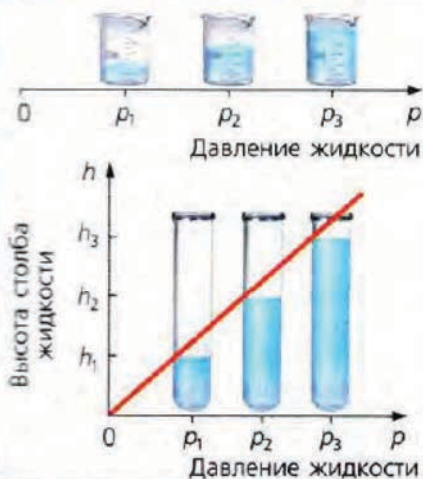
### ВСПОМНИТЕ:

- Как формулируется закон Паскаля?
- Как определить давление твёрдого тела на опору?
- Как зависит масса тела от его плотности?
- Что такое вес тела?
- Как вес тела зависит от его массы?



Давление жидкости на дно сосуда рассчитывают по формуле

$$p = \rho gh.$$



Жидкость, находящаяся в сосуде, оказывает давление как на дно сосуда, так и на его стенки. Поверхность жидкости, которая не соприкасается со стенками сосуда, называют **свободной поверхностью жидкости**. Давление, оказываемое покоящейся жидкостью, называют **гидростатическим**.

**РАСЧЕТ ДАВЛЕНИЯ ЖИДКОСТИ НА ДНО СОСУДА** Вычислим давление жидкости на дно сосуда площадью  $S$ , если высота столба жидкости в этом сосуде равна  $h$ .

Как известно, давление определяется по формуле

$$p = \frac{F}{S}.$$

В нашем случае сила  $F$ , с которой жидкость действует на дно сосуда, равна её весу. Вес жидкости определяется по формуле

$$P = mg. \quad (1)$$

Следовательно, для определения веса жидкости необходимо найти её массу. Для этого воспользуемся формулой

$$m = \rho V,$$

где  $\rho$  — плотность жидкости, а  $V$  — объём жидкости. Для определения объёма необходимо найти произведение площади дна сосуда и высоты столба жидкости:

$$V = Sh.$$

Следовательно, масса жидкости в сосуде определяется по формуле

$$m = \rho Sh. \quad (2)$$

Подставим это выражение в формулу (1) и получим

$$P = g\rho Sh. \quad (3)$$

Теперь для нахождения давления необходимо вес жидкости разделить на площадь сосуда:

$$p = \frac{g\rho Sh}{S}.$$

Сократив в полученном выражении  $S$  в числителе и знаменателе, получим формулу для расчёта давления жидкости на дно сосуда:

$$p = \rho gh. \quad (4)$$

**РАСЧЕТ ДАВЛЕНИЯ ЖИДКОСТИ НА СТЕНКИ СОСУДА** Так как по закону Паскаля давление внутри жидкости на одном и том же уровне одинаково по всем направлениям, то по формуле (4) можно находить давление жидкости на стенки сосуда на любой глубине.



### ОТ ЧЕГО ЗАВИСИТ ДАВЛЕНИЕ ЖИДКОСТИ НА ДНО СОСУДА

Из формулы (4) видно, что давление жидкости на дно и стенки сосуда прямо пропорционально высоте столба жидкости и зависит не только от высоты столба жидкости, но и от плотности жидкости  $\rho$ . Чем больше плотность жидкости, тем большее давление она оказывает при условии, что высота столба жидкости остаётся постоянной.



Даже при использовании дыхательных трубок, выступающих над водой, глубина погружения человека не может превышать 1,5 м, так как из-за давления воды у него не хватит сил увеличить объём грудной клетки и вдохнуть воздух. В 1943 г. французами Ж. Кусто и Э. Ганьяном был изобретён **акваланг** — специальный аппарат со сжатым воздухом, предназначенный для дыхания под водой и позволяющий находиться под водой от нескольких минут (на глубине около 40 м) до часа и более.

**ГИДРОСТАТИЧЕСКИЙ ПАРАДОКС** Из формулы (4) видно, что *давление жидкости на дно и стенки сосуда зависит только от плотности и высоты столба жидкости и не зависит от формы сосуда.*

Приведённая схема опыта показывает, что сила, с которой жидкость оказывает давление на дно сосудов различной формы, но с одинаковой площадью дна и одинаковой высотой столба жидкости в них, будет одной и той же. Каждый из сосудов снабжён съёмным дном, и динамометры показывают именно силу воздействия воды на дно сосудов, но не вес жидкости. Очевидно, что вес жидкости в сосудах будет различным, так как объёмы жидкости в сосудах неодинаковы.

По закону Паскаля давление столба жидкости высотой  $h$  равномерно передаётся в любую точку дна каждого из сосудов. Именно поэтому сила, с которой жидкость оказывает давление на дно, больше веса жидкости в сосуде  $B$ , но меньше веса жидкости в сосуде  $C$ . Несмотря на кажущееся противоречие, ничего парадоксального в этих опытах нет.

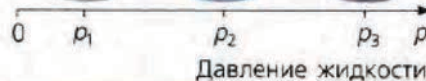
**ОПЫТ ПАСКАЛЯ** Даже небольшим количеством воды можно создать очень большое давление. В 1648 г. этот факт очень убедительно продемонстрировал Б. Паскаль, поразив своих современников. В прочную, наполненную водой и закрытую со всех сторон бочку площадью поверхности  $2 \text{ м}^2$  была вставлена тоненькая трубочка площадью сечения  $1 \text{ см}^2$  и высотой 5 м. Затем Паскаль поднялся на балкон второго этажа и влил в эту трубочку всего кружку воды. Из-за малого диаметра трубки вода поднялась до большой высоты, и давление на стенки бочки так возросло, что планки (клёпки) бочки разошлись и вода стала вытекать из бочки.

В соответствии с формулой (4) давление жидкости также зависит от ускорения свободного падения  $g$ . Значит, если представить себе один и тот же сосуд с жидкостью, помещённый на разные планеты, то давление на дно и стенки сосуда в нём будет различно в зависимости от значения  $g$  на планете.

Бензин

Вода

Ртуть



### ВОПРОСЫ:

- Почему взрыв, произведённый под водой, оказывается губительным для живых организмов?
- От каких величин зависит давление жидкости на дно и стенки сосуда?
- Почему на одной и той же глубине давление воды больше в море, чем в реке?

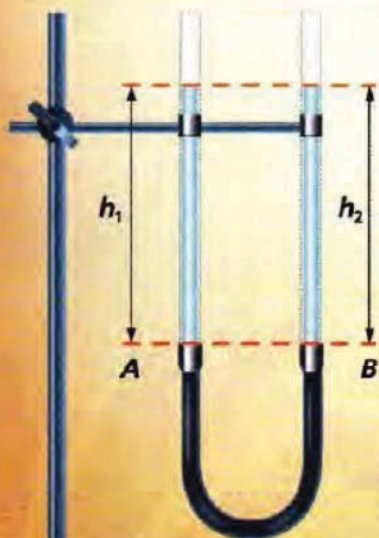


**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

- Что такое сообщающиеся сосуды.
- В чём заключается принцип сообщающихся сосудов.
- Где используется принцип сообщающихся сосудов.

**ВСПОМНИТЕ:**

- Что такое гидростатическое давление?
- Что такое свободная поверхность жидкости?
- Как определить давление жидкости на дно и стенки сосудов?



Что общего может быть у чайника, лейки, водопровода и шлюзов? Все они имеют разное предназначение. Но можно заметить, что отдельные их части соединены между собой. Сосуды, имеющие общую соединяющую их часть, называются **сообщающимися**.

**СООБЩАЮЩИЕСЯ СОСУДЫ** Если две стеклянные трубки соединить пластиковым шлангом, то получатся сообщающиеся сосуды. Наливая воду в одну трубку, мы увидим, что вода будет перетекать и в другую. При этом уровни воды в трубках будут всё время одинаковы. Если одну трубку оставить неподвижной, а вторую поднимать, опускать или наклонять в сторону, то всё равно, как только движение трубки прекратится, уровни воды в обеих трубках окажутся одинаковыми.

**ПРИНЦИП СООБЩАЮЩИХСЯ СОСУДОВ** В сообщающихся сосудах любой формы и сечения *свободные поверхности однородной жидкости устанавливаются на одном уровне* (при условии, что давление воздуха над жидкостью одинаково).

Докажем это утверждение. Мысленно выделим в сообщающихся сосудах некоторый уровень *AB*. Пусть  $p_1 = \rho_1 g h_1$  — давление в левой части сосуда на уровне *A*, а  $p_2 = \rho_2 g h_2$  — давление в правой части на уровне *B*.

Так как жидкость находится в покое, давление на этом уровне в левой и правой частях одинаково:

$$p_1 = p_2.$$

Поскольку жидкость в сосудах однородная, то

$$\rho_1 = \rho_2.$$

Следовательно,

$$\rho_1 g h_1 = \rho_2 g h_2. \quad (1)$$

Получаем

$$h_1 = h_2.$$

Приведённые рассуждения справедливы для любого выделенного уровня жидкости.

Уровень жидкости в одном из сосудов можно изменить либо долив в него ещё жидкость, либо подняв его, либо опустив. В этом случае из-за образовавшейся разницы давлений жидкость перемещается из одного сосуда в другой до тех пор, пока свободные поверхности не окажутся на одном уровне. При этом на любом другом выделенном уровне давления в сосудах вновь станут равными.

**СООБЩАЮЩИЕСЯ СОСУДЫ С НЕОДНОРОДНОЙ ЖИДКОСТЬЮ**

Рассмотрим ситуацию, когда в разные колена сообщающихся сосудов налиты разнородные жидкости, т. е. жидкости с различными плотностями. В этом случае при установившемся равновесии уровни этих жидкостей будут различаться. Почему?





Из уравнения (1) следует, что

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}$$

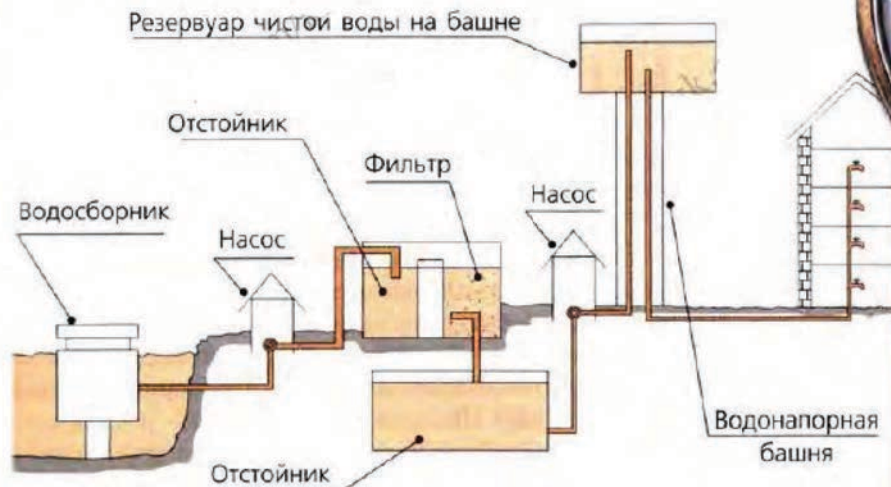
Значит, *высота столба жидкости с меньшей плотностью будет больше, чем высота столба жидкости с большей плотностью.* То есть высота столбиков жидкости в сообщающихся сосудах обратно пропорциональна их плотностям.



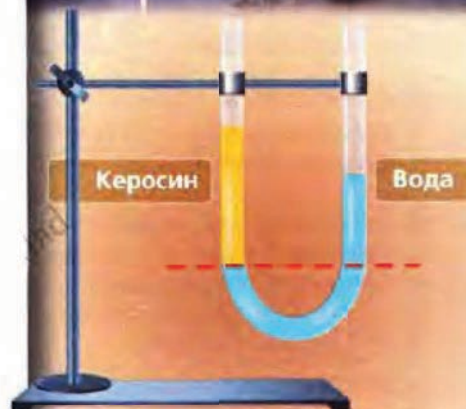
**В** отличие от обычного колодца, из которого воду нужно черпать ведром или качать насосом, из артезианского колодца вода сама поднимается на поверхность и бьёт фонтаном. Это происходит потому, что уровень воды в водоносном слое выше её уровня в местонахождении колодца. Вода поднимается на поверхность по принципу сообщающихся сосудов.

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИНЦИПА СООБЩАЮЩИХСЯ СОСУДОВ

Принцип сообщающихся сосудов широко используется при создании различных технических устройств. Он лежит в основе устройства водопровода и шлюзов.



**Р**аскопки археологов показали, что возраст старейших водопроводов достигает нескольких тысяч лет. Уже в Древнем Египте были построены водопроводы, в которых вода подавалась в дома по деревянным или керамическим трубам из колодцев при помощи водоподъёмников. Древние римляне несколько усовершенствовали устройство водопровода и научились передавать воду через реки, овраги и т. д. В Европе первый водопровод появился во Франции в конце XVII в. В России первый водопровод был сооружён в Москве в 1804 г., а затем в Петербурге в 1861 г.



### ВОПРОСЫ:

- На каком свойстве жидкости основан принцип сообщающихся сосудов?
- Как располагаются поверхности однородной жидкости в сообщающихся сосудах?
- Как располагаются поверхности неоднородных жидкостей в сообщающихся сосудах?



**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

- Как используется давление в простейших механических устройствах.
- Какие приборы называют гидравлическими и как они работают.
- Какие приборы называют пневматическими и как они работают.
- Как работают шлюзы.

**ВСПОМНИТЕ:**

- Что такое давление?
- Как передаётся давление в жидкости и газе?

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАВЛЕНИЯ В ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ

Знание физических законов, связанных с понятием давления, помогает объяснить принципы действия огромного количества технических устройств, от самых простых до достаточно сложных.

**ПРОСТЕЙШИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА**

Когда мы копаем обычной лопатой землю или песок, то действуем всем своим весом (400–700 Н) на довольно маленькую поверхность, на которую оказывает давление режущая кромка лопаты (площадью не больше 0,00025 м<sup>2</sup>). Этого достаточно, чтобы лопата вошла в землю. В то же время, чтобы уменьшить давление со стороны лопаты на подошву ноги, на лопате делают специальные «ступеньки», площадь которых около 0,006 м<sup>2</sup>.

Ещё один пример — канцелярская кнопка. Мы оказываем давление на кнопку пальцем силой, приблизительно равной 30 Н. Тогда давление, оказываемое на верхнюю поверхность кнопки (площадью около 1 см<sup>2</sup>), равно

$$30 \text{ Н/см}^2 = 300 \text{ 000 Па.}$$

В то же время давление заострённого конца кнопки (площадью около 0,01 мм<sup>2</sup>) на стол оказывается в 10 000 раз больше.

Многотонные вездеходы, оснащённые широкими гусеницами, способны ездить в пустынях, по болотистой местности, где проваливаются и буксуют узкие колёса легкового автомобиля. Гусеничный вездеход массой 3000 кг оказывает давление на грунт, равное всего 12 000 Па.

**ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ МАШИНЫ**

Гидравлические машины (от греч. *hydraulikos* — водяной) — это машины, принцип действия которых основан на законе Паскаля и таком важном свойстве жидкости, как её практическая несжимаемость.

Гидравлическая машина состоит из двух сообщающихся сосудов, снабжённых поршнями. Эти сосуды заполнены жидкостью (масло, вода и т. п.). В случае, когда на поршни ничего не действует, уровни жидкости в сосудах будут одинаковыми в соответствии с принципом сообщающихся сосудов.

Если на один из поршней начать действовать силой  $F_1$ , то давление под этим поршнем возрастёт. По закону Паскаля оно передаётся во все точки жидкости одина-





ково, и второй поршень начнёт двигаться вверх. Какую силу  $F_2$  надо приложить в этом случае ко второму поршню, чтобы уровни жидкости в обоих сосудах остались одинаковыми?

Поскольку в рассматриваемой ситуации жидкость находится в равновесии, то давления под поршнями одинаковы:  $p_1 = p_2$ . Учитывая, что

$$p_1 = \frac{F_1}{S_1}, \quad p_2 = \frac{F_2}{S_2},$$

получаем

$$\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}, \quad \text{или} \quad \frac{F_2}{F_1} = \frac{S_2}{S_1}.$$

Следовательно, сила  $F_2$  во столько раз больше силы  $F_1$ , во сколько раз площадь большого поршня  $S_2$  больше площади малого поршня  $S_1$ .

Таким образом, гидравлические машины позволяют уравновесить силы, различающиеся во много раз. Отношение  $F_2/F_1$  называют **выигрышем в силе**.

**ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ПРЕСС** Гидравлическую машину, предназначенную для сжатия тел, называют **гидравлическим прессом**.

Гидравлический пресс работает следующим образом. Тело, которое необходимо сжать (спрессовать), помещают на платформу, установленную на большом поршне. Воздействуя на малый поршень, увеличивают давление в жидкости. По закону Паскаля это давление передаётся на большой поршень, и он начинает подниматься.

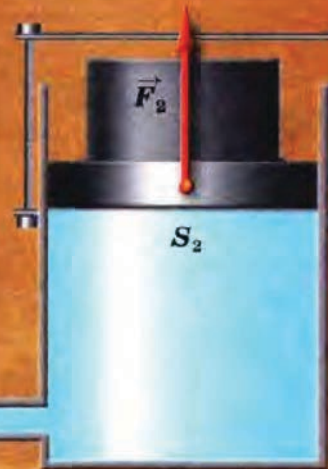
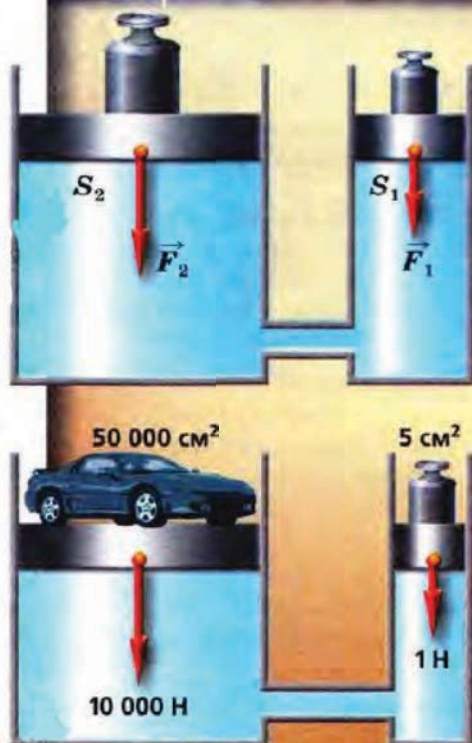
Учитывая выигрыш в силе, который даёт гидравлическая машина, сила  $F_1$  должна быть меньше силы  $F_2$  во столько раз, во сколько площадь  $S_2$  больше площади  $S_1$ . На практике это различие может быть очень большим.

При подъёме большого поршня тело будет упираться в неподвижную верхнюю платформу и сжиматься.

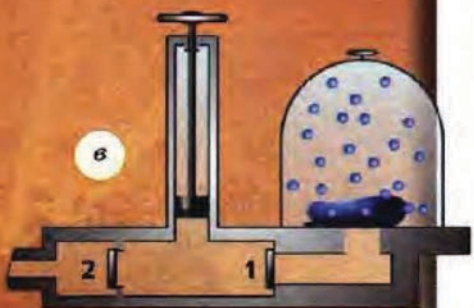
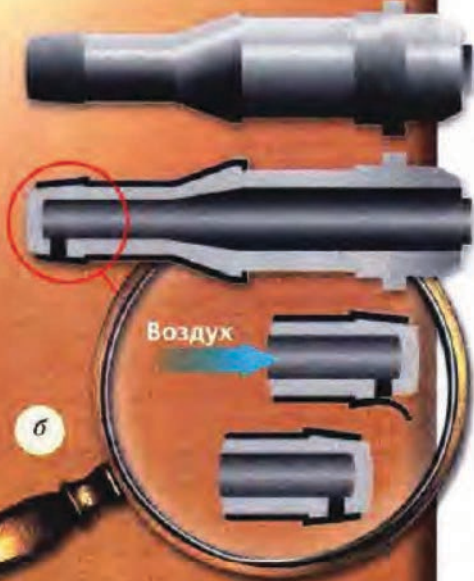


Впервые гидравлические прессы стали применять на практике в конце XVIII — начале XIX в. Гидравлические прессы применяют там, где требуется большая сила.

Например, для выжимания масла из семян на маслобойных заводах, для прессования фанеры, картона. На металлургических заводах гидравлические прессы используют при изготовлении стальных валов машин, железнодорожных колёс и других изделий. Современные гидравлические прессы могут развивать силу в десятки и сотни миллионов ньютонов.







**ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА** В различных областях техники и промышленности можно встретить пневматические устройства, т. е. устройства, приводимые в действие сжатым воздухом.

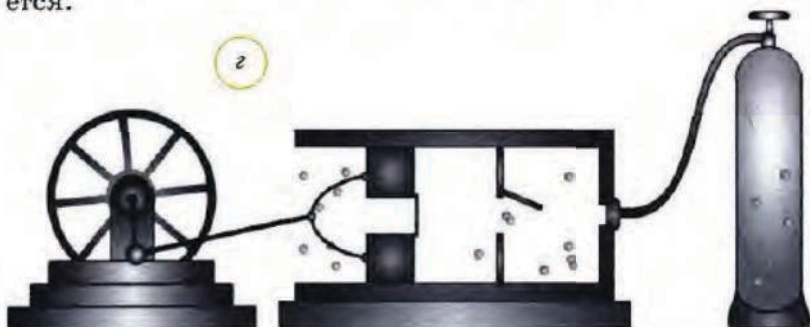
**НАСОС И НИППЕЛЬ** Рассмотрим сначала простейший насос *a*. Его мы используем для накачивания мячей, велосипедных или автомобильных камер. Работает насос следующим образом. При подъёме поршня вверх через отверстие в корпус насоса входит воздух. При опускании поршня воздух под ним сжимается и через *ниппель б* проходит в камеру.

Ниппель нужен для того, чтобы пропускать воздух внутрь какого-то объёма, но не выпускать его наружу. Устроен он следующим образом. В тонкой металлической трубке сделано отверстие в боковой поверхности. На неё плотно надета узкая резиновая трубочка. Когда воздух под давлением идёт из насоса, трубочка раздувается и пропускает его в камеру. Обратное же воздух через трубочку пройти не может.

**ПОРШНЕВОЙ ВОЗДУШНЫЙ НАСОС С КЛАПАНАМИ** Устройства, которые используют для разрежения газа, также называют насосами. В качестве примера рассмотрим *поршневой воздушный насос с клапанами в*. Воздух откачивается из сосуда. При движении поршня вверх в камере между клапанами понижается давление. Из-за разности давлений в камере и сосуде, из которого выкачивают воздух, открывается клапан *1*. При опускании поршня он закрывается, и открывается клапан *2*, воздух выходит из насоса.

В технике также используют насосы для работы с жидкостью. Примером такого насоса может служить *поршневой жидкостный насос*.

**НАГНЕТАТЕЛЬНЫЙ НАСОС-КОМПРЕССОР** Ещё один вид насоса — *нагнетательный насос-компрессор г*. При вращении маховика поршень движется в цилиндре вправо и влево. При движении поршня вправо сжатый воздух открывает клапан на заслонке и нагнетается в баллон. При движении поршня влево новая порция воздуха засасывается в цилиндр из атмосферы, причём клапан на заслонке закрывается, а клапан на поршне открывается.



Компрессорная техника — это набор методов и аппаратуры для получения, поддержания и контроля давления выше атмосферного. История развития физики и химии, а также ряда отраслей промышленности неразрывно связана с развитием компрессорной техники.



**ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ ТОРМОЗА** Сжатый воздух также используют в *пневматических тормозах* для железнодорожного транспорта. Рассмотрим схему их работы.

Магистраль, тормозной цилиндр и резервуар заполняют сжатым воздухом, который под давлением нагнетается компрессором. При открывании стоп-крана сжатый воздух выходит из магистральной трубы, и давление в правой части тормозного цилиндра становится меньше, чем в левой (из которой сжатый воздух благодаря клапану выйти не может).

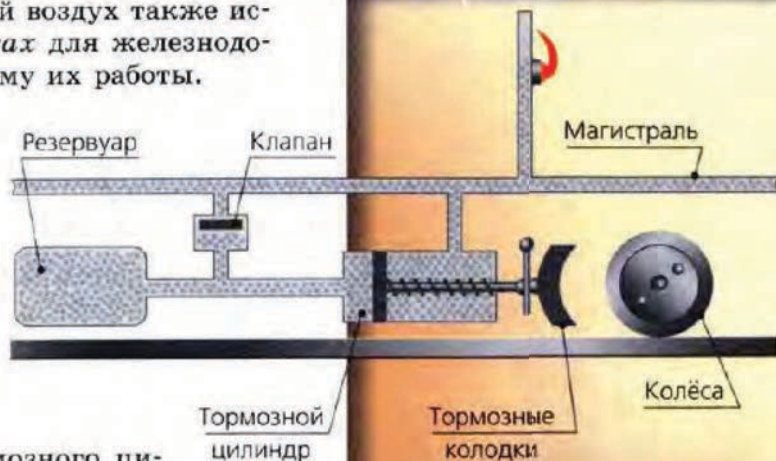
В результате этого поршень тормозного цилиндра перемещается вправо и прижимает тормозную колодку к ободу колеса, которое при этом затормаживается.

При наполнении магистральной трубы сжатым воздухом тормозные колодки отжимаются пружинами от колёс.

**ШЛЮЗЫ** Ещё одним примером технического устройства, в котором используются изученные нами законы, являются *шлюзы*. Они широко используются во всём мире для того, чтобы суда могли пройти сквозь водоёмы, уровень воды в которых отличается друг от друга.

При помощи ворот уровень воды между ними выравнивается, и судно за небольшой промежуток времени попадает из водоёма с одним уровнем воды в водоём с другим уровнем воды.

Первые шлюзы были изобретены в XIV или XV в. В 1481 г. два монаха-доминиканца из Витербо (Италия) предложили схему шлюзовой камеры с затворами, а Леонардо да Винчи (1452—1519) спроектировал 6 шлюзов, создав систему каналов Милана. До этого (и долгое время после этого) на многих каналах суда поднимались или опускались по наклонной плоскости на канатах, однако таким способом можно было перетаскивать лишь небольшие суда. Историческая роль шлюзов обусловлена именно тем, что с их помощью можно проводить крупные суда по каналам с перепадом уровня воды. К началу XVIII в. водные пути в их естественном состоянии уже не отвечали требованиям развивающейся экономики России. Первым искусственным водным путём, созданным в России, была Вышневолоцкая система. По указу Петра I от 12 января 1703 г. начались работы по строительству канала между реками Цна и Тверца. Указом повелевалось начальству ближайших провинций к 1 апреля того же года выслать на «перекопные работы» 5000 пеших работников, 1000 конных и 400 плотников. К 1709 г. были созданы Тверецкий канал, один деревянный полушлюз на Цне и два — на Тверце.



Российская Федерация располагает самой большой в мире сетью внутренних водных путей, используемых для транспортного судоходства.

В настоящее время эксплуатируются пути общей протяжённостью около 101,6 тыс. км. На них расположено около 700 судоходных гидротехнических сооружений, в том числе 110 судоходных шлюзов.



#### ВОПРОСЫ:

- Какой закон используют в устройстве гидравлических машин?
- Чем определяется выигрыш в силе, который даёт гидравлический пресс?
- Какие устройства называют пневматическими?



## ПОДВЕДЁМ ИТОГИ

- Результат действия силы зависит не только от её значения, направления и точки приложения, но и от площади той поверхности, перпендикулярно которой она действует.
- Давление тем больше, чем меньше площадь, на которую действует сила. И наоборот, при увеличении площади, на которую действует сила, давление уменьшается.
- Давление газа обусловлено иными причинами, чем давление твёрдого тела на опору. Давление газа на стенки сосуда вызывается ударами молекул газа.
- По закону Паскаля давление, производимое на жидкость или газ, передаётся в любую точку одинаково во всех направлениях.
- Давление жидкости на дно и стенки сосуда зависит только от плотности и высоты столба жидкости и не зависит от формы сосуда.



$$p = \frac{F}{S}$$



ТВЁРДОГО ТЕЛА

В ЖИДКОСТИ



$$p = \rho gh$$



ДАВЛЕНИЕ

В ГАЗЕ

### «ПОДРОБНЕЕ...»

Липсон Г. Великие эксперименты в физике. — М.: Мир, 1978.

Перельман Я. И. Знаете ли вы физику? Библиотечка «Квант». Вып. 82. — М.: Наука, 1992.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ:

- Футбольный мяч падает с некоторой высоты. Отличается ли давление воздуха внутри мяча при падении от его давления в случае, когда мяч покоится?
- Давление на больших глубинах в Мировом океане достигает колоссальных значений. Почему же глубоководные обитатели не ощущают при этом дискомфорта?
- Как изменится давление жидкости на дно сосуда, если он начнёт падать, сохраняя вертикальное положение?
- В цилиндрических сообщающихся сосудах находится вода. Сохранится ли одинаковый уровень воды в сосудах, если один из них начнут нагревать?

Технический музей Словакии  
<http://www.stm-ke.sk>

Политехнический музей  
<http://eng.polymus.ru>





# АТМОСФЕРА И АТМОСФЕРНОЕ ДАВЛЕНИЕ

- ВЕС ВОЗДУХА. АТМОСФЕРНОЕ ДАВЛЕНИЕ
- ИЗМЕРЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ. ОПЫТ ТОРРИЧЕЛЛИ
- ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ



## КОРОТКО О ГЛАВНОМ...

Подобно тому как масса морской воды давит своим весом на часть земли, образующую основание моря, и давила бы своим весом на всю поверхность земли, если бы она окружала всю землю, а не только часть её, и масса воздуха, окружающая всю землю, давит своим весом на все её части.

*Блез Паскаль*



## ВЕС ВОЗДУХА. АТМОСФЕРНОЕ ДАВЛЕНИЕ

### ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Как определить плотность и вес воздуха.
- Что такое атмосферное давление.
- Что такое атмосфера Земли.
- Каков состав и строение атмосферы.

### ВСПОМНИТЕ:

- Как происходит передача давления в газах?
- В чём сущность закона Паскаля?

Воздушная оболочка, окружающая Землю, называется атмосферой (от греч. *atmos* — пар и *spharia* — шар). Атмосфера — это смесь различных газов, т. е. она состоит из молекул, которые обладают массой. На каждую из них действует сила тяжести, следовательно, атмосфера имеет вес, поэтому она оказывает давление на поверхность Земли и на все тела на Земле. Это давление называют *атмосферным давлением*.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕСА ВОЗДУХА** Для определения веса воздуха необходимо знать его массу. Рассмотрим опыт, который, во-первых, наглядно продемонстрирует, что воздух обладает массой, во-вторых, поможет её определить.

Для проведения данного опыта необходимы чувствительные весы и колба, из которой при помощи насоса выкачан воздух.

Проведём два взвешивания. При первом определяется вес колбы без воздуха. Второе взвешивание проводится после того, как в колбу впускается воздух. Оказывается, что колба с воздухом весит больше.

Приведённое в таблицах физических величин значение массы воздуха объёмом  $1 \text{ м}^3$  при температуре  $0^\circ \text{C}$  равно  $1,29 \text{ кг}$ . Это значение получено путём тщательных измерений. Вычислим вес этого воздуха:

$$P = mg,$$

$$P = 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 1,29 \text{ кг} \approx 13 \text{ Н}.$$

Зная массу заданного объёма воздуха, можно вычислить и плотность воздуха.

**АТМОСФЕРНОЕ ДАВЛЕНИЕ** Как показали наблюдения из космоса, атмосфера простирается на высоту более чем  $1500 \text{ км}$  от поверхности Земли. Масса всей атмосферы составляет около  $5 \cdot 10^{18} \text{ кг}$ , а это одна миллионная часть массы Земли. Постепенно атмосфера переходит в безвоздушное пространство, но чёткой границы атмосферы не существует.

Под действием силы тяжести верхние слои воздуха атмосферы оказывают давление на её нижние слои. Воздушный слой, прилегающий непосредственно к Земле, согласно закону Паскаля передаёт производимое на него давление вышележащих слоёв по всем направлениям. В результате этого земная поверхность и тела, находящиеся на ней, испытывают давление всей толщи воздуха. Значит, чем ближе к поверхности Земли, тем больше атмосферное давление. Из-за быстрого убывания плотности атмосферы почти вся её масса содержится в нижних слоях — тропосфере и стратосфере.



Масса воздуха

Проходящего при дыхании через лёгкие человека

20–30 кг за сутки

В небольшой комнате

30–40 кг

В вагонах пассажирского поезда

2 т

Молекулы газов, составляющих атмосферу, находятся в непрерывном и беспорядочном движении. При этом на них действует сила тяжести. Именно эти две причины не позволяют молекулам воздуха ни упасть на поверхность Земли, ни улететь в межпланетное пространство.



С увеличением высоты изменяется не только атмосферное давление, но и плотность воздуха. По результатам измерений на высоте около 5,5 км плотность воздуха уже в 2 раза меньше, чем у поверхности Земли.

### ПОЧЕМУ МЫ НЕ ОЩУЩАЕМ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ?

Для ответа на этот вопрос рассмотрим опыт. Возьмём стеклянную банку и затыкнем её горлышко тонкой резиновой плёнкой. На плёнку снаружи действует сила, обусловленная атмосферным давлением воздуха, однако плёнка совершенно не прогибается. Дело в том, что давление воздуха внутри банки равно атмосферному, поэтому на внутреннюю поверхность плёнки действует такая же сила, что и на наружную. Силы уравновешены, и плёнка остаётся неизогнутой, как если бы на неё не действовали никакие силы.

Если откачать часть воздуха из банки, уменьшив этим его давление, то плёнка прогибается внутрь банки. Если, наоборот, накачать в банку воздух, то плёнка выгибается наружу. Плёнка прогибается настолько, что возникшие в ней упругие силы вместе с силой давления воздуха в банке уравновешивают силу давления внешнего воздуха.

### ВЛИЯНИЕ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ НА ФИЗИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

Существование атмосферного давления является причиной многих явлений, которые мы встречаем в жизни.

Рассмотрим такой пример. В сосуд с водой опустим стеклянную трубку с поршнем. Если поднимать поршень, то за ним будет подниматься и вода. Почему это происходит? При подъёме поршня между ним и водой образуется безвоздушное пространство. В это пространство под давлением наружного воздуха и поднимается вслед за поршнем вода.

В результате действия атмосферного давления вода поднимается по соломинке, когда мы с её помощью пьём воду.

Если стеклянную трубку опустить в воду, а потом её верхний конец закрыть пальцем, то при вытаскивании трубки из воды в ней остаётся столбик воды. Почему это происходит? При опускании конца трубки в воду часть её заполняется водой по принципу сообщающихся сосудов. Когда мы закрываем открытый конец трубки пальцем и вытаскиваем её из воды, часть воды выливается из трубки. При этом давление воздуха в трубке становится чуть меньше атмосферного (на значение гидростатического давления оставшегося столбика воды). Снизу же на столбик воды действует давление воздуха, равное атмосферному. Именно поэтому вода из трубки не вытекает.

Ткани, кровеносные сосуды и стенки других полостей тела подвергаются наружному давлению атмосферы, но кровь и другие жидкости и газы, заполняющие эти полости, сжаты до такого же давления. Поэтому большинство тканей в нашем организме, испытывая одинаковое давление изнутри и снаружи, не деформируются и атмосферное давление не ощущается.



### ВОПРОСЫ:

- Что представляет собой атмосфера Земли?
- Как создаётся атмосферное давление?
- Не исключено, что Луна когда-то имела атмосферу, но лишилась её. Чем это можно объяснить?



**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

- Как можно измерить атмосферное давление.
- В каких единицах измеряется атмосферное давление.
- Чему равно нормальное атмосферное давление.
- В чём заключается опыт Торричелли.

**ВСПОМНИТЕ:**

- Что такое атмосфера?
- Что такое атмосферное давление?

## ИЗМЕРЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ. ОПЫТ ТОРРИЧЕЛЛИ

Давление в жидкости и газе определяют по формуле  $p = \rho gh$ , следовательно, для определения атмосферного давления необходимо знать плотность воздуха и высоту воздушного столба над поверхностью Земли. Но атмосфера не имеет чёткой верхней границы, а плотность воздуха существенно меняется с высотой. Опыт, помогающий измерить атмосферное давление, был предложен в 1643 г. итальянским учёным Е. Торричелли.

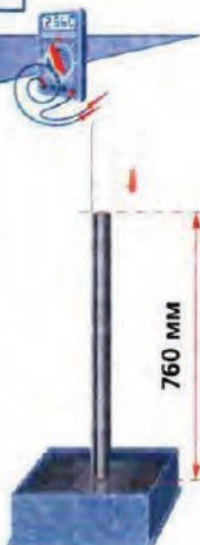
**ОПЫТ ТОРРИЧЕЛЛИ** Торричелли использовал стеклянную трубку длиной около 1 м, запаянную с одного конца и наполненную ртутью. Закрыв открытый конец трубки, он перевернул её и опустил в чашку с ртутью. После того как он открыл конец трубки, часть ртути вылилась в чашку, а часть её осталась в трубке. Высота столба ртути, оставшейся в трубке, оказалась равной приблизительно 760 мм. Над ртутью в трубке образовалось безвоздушное пространство, так как воздух там отсутствовал. Впоследствии пустота, образующаяся в трубке при опыте Торричелли, получила название «торричеллиева пустота».

Почему же вся ртуть из трубки не вылилась в чашку? Сам Торричелли предложил следующее объяснение происходящего. Сила тяжести заставляет ртуть двигаться вниз. При этом на поверхность ртути в чашке оказывает давление атмосфера Земли. Это давление по закону Паскаля передаётся без изменения в каждую точку жидкости и оказывает воздействие на ртуть в трубке снизу. Следовательно, столбик ртути перестаёт перемещаться, когда силы уравновешиваются, т. е. когда давление столба ртути на уровне, совпадающем с уровнем свободной поверхности ртути в чашке, становится равным атмосферному давлению.



Паскаль считал, что для окончательного доказательства факта существования атмосферного давления необходимо проделать опыт Торричелли один раз у подножия какой-нибудь горы, другой раз на её вершине и в обоих случаях измерить высоту ртутного столба в трубке.

В 1648 г. по поручению Паскаля такой эксперимент проделал Ф. Перье. Он полностью подтвердил предположение Паскаля о том, что атмосферное давление зависит от высоты. При высоте горы около 1,5 км разница уровней ртути составила более 8 см.



**Евангелиста Торричелли**  
(1608—1647)

Итальянский математик и физик, живший во Флоренции.



**НОРМАЛЬНОЕ АТМОСФЕРНОЕ ДАВЛЕНИЕ** Значение атмосферного давления, равное давлению столба ртути высотой 760 мм при температуре 0 °С называют **нормальным атмосферным давлением**.

Измерив высоту столба ртути, можно рассчитать давление, которое производит ртуть. Если внимательно отмечать положение уровня ртути, можно заметить, что с течением времени оно меняется. Это указывает на то, что атмосферное давление может изменяться по ряду причин (изменение температуры, смена направлений ветра и т. д.).

Если атмосферное давление уменьшается, то столб ртути в опыте Торричелли понижается. Чем больше атмосферное давление, тем выше столб ртути в опыте Торричелли.

**ЕДИНИЦЫ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ** На практике атмосферное давление часто удобно измерять высотой ртутного столба. В этом случае единицей атмосферного давления является *1 миллиметр ртутного столба* (1 мм рт. ст.).

Например, если говорят, что атмосферное давление равно 770 мм рт. ст., то это значит, что воздух производит такое же давление, какое производит вертикальный столб ртути высотой 770 мм.

Найдём соотношение между этой единицей и паскалем (Па). Для этого рассчитаем давление столбика ртути высотой 1 мм:

$$p = \rho gh,$$

$$p = 13\,600 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 0,001 \text{ м} \approx 133,3 \text{ Па}.$$

Итак, 1 мм рт. ст. = 133,3 Па.

На практике также используют специальную единицу давления — *атмосферу*. Одна атмосфера равна  $10^5$  Па.

**ОПЫТ ГЕРИКЕ** В 1654 г., спустя 11 лет после открытия Торричелли, действие атмосферного давления было наглядно показано бургомистром г. Магдебурга Отто фон Герике.

Два медных полушария были соединены кольцевой прокладкой. Через кран, сделанный к одному из полушариев, из составленного шара был выкачан воздух. Давление наружного воздуха прижало полушария друг к другу настолько сильно, что их не могли разнять восемь пар лошадей.

Единицей атмосферного давления является **миллиметр ртутного столба** (1 мм рт. ст.) и **атмосфера**.

$$1 \text{ мм рт. ст.} = 133,3 \text{ Па}$$

$$1 \text{ атмосфера} = 10^5 \text{ Па}$$

**Отто фон Герике**  
(1602—1686)

Немецкий физик, инженер и философ. Изобрёл вакуумную откачку и провёл известный эксперимент с «магдебургскими полушариями», который доказал наличие давления воздуха.

Опытами установлено, что при подъёме в среднем на каждые 12 м давление уменьшается на 1 мм рт. ст.

#### ВОПРОСЫ:

- Почему нельзя рассчитывать давление воздуха так же, как рассчитывают давление жидкости на дно и стенки сосуда?
- Что означает запись: «Атмосферное давление равно 760 мм рт. ст.»?
- Можно ли опыт Торричелли осуществить на борту орбитальной космической станции? Ответ обобщите.



**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

- Что такое барометр-анероид.
- Как работает манометр.
- Как измеряют кровяное давление.

**ВСПОМНИТЕ:**

- Что такое атмосферное давление?
- Как можно измерить атмосферное давление?

## ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ

Для решения многих практических задач необходимо измерять давление. Для этого используют различные приборы и устройства.

**РТУТНЫЙ БАРОМЕТР** Если к трубке с ртутью, использовавшейся в опыте Торричелли, прикрепить вертикальную шкалу, то получится простейший прибор — **ртутный барометр а**. Это жидкостной барометр, в котором атмосферное давление измеряется по высоте столба ртути в запаянной сверху трубке, опущенной открытым концом в сосуд с ртутью.

Ртутные барометры наиболее точные приборы, ими оборудованы метеорологические станции, по ним проверяется работа других видов барометров.

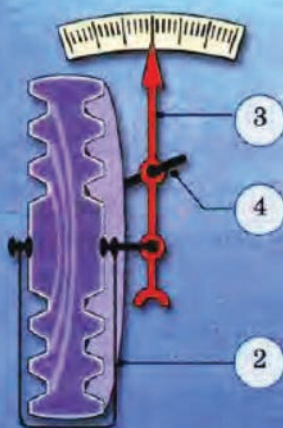
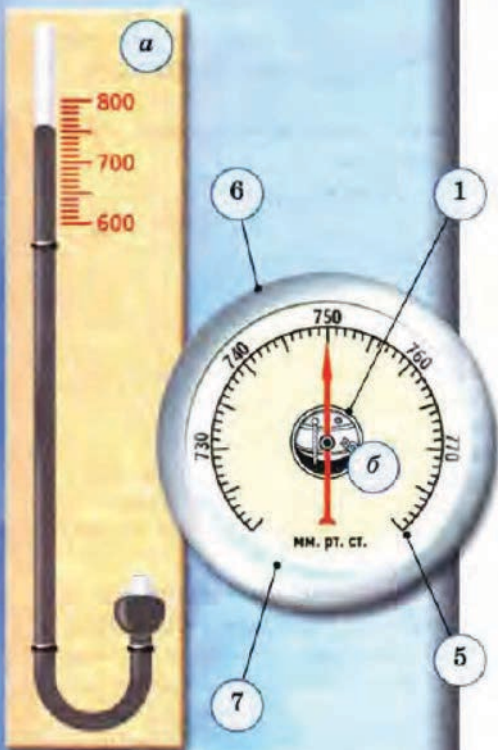
**БАРОМЕТР-АНЕРОИД** Также для измерения атмосферного давления используют металлический барометр, называемый **анероидом б** (в переводе с греческого — безжидкостный). Он не содержит ртуть.

Главная часть барометра-анероида — лёгкая, полая внутри металлическая коробочка 1. Крышка коробки сделана с волнистой (гофрированной) поверхностью для повышения её гибкости. Воздух из коробочки откачан. Её стенки растягивает пружинящая металлическая пластина 2. При изменении атмосферного давления крышка прогибается и натягивает или сжимает пружинку. При этом поворачивается стрелка-указатель 3, насаженная на ось 4, под которой укреплена шкала 5, деления которой нанесены по показаниям ртутного барометра. Все детали барометра помещены внутрь корпуса 6, закрытого стеклом 7.

Барометры-анероиды менее надёжны, чем ртутные. Однако они гораздо более удобны в обращении, поэтому получили очень широкое распространение в тех случаях, когда не требуется очень большой точности.

**МАНОМЕТР** Для измерения давления жидкости или газов используют приборы, которые называют **манометры** (от греч. *manos* — неплотный и *metreo* — измеряю). Манометры бывают **жидкостные** и **металлические**.

**Жидкостный манометр** может измерять давления много меньшие, чем атмосферное. Он состоит из двухколенной стеклянной трубки, в которую налита какая-нибудь жидкость. Работа манометра основана на сравнении давления в закрытом колене с внешним давлением в открытом колене. По разности высот жидкости в коленах судят об измеряемом давлении.





В обычном состоянии жидкость устанавливается в обоих коленах на одном уровне, так как на её поверхность действует только атмосферное давление.

Для демонстрации принципа работы манометра обычно используют следующее оборудование: сосуд с водой, плоская коробочка, затянута резиновой мембраной, и пластиковая трубочка, соединяющая эту коробочку с коленом манометра.

Если поместить коробочку в сосуд с водой, то столб жидкости будет оказывать давление на мембрану, что приведёт к сжатию воздуха, находящегося в коробочке и соединительной трубке.

В соответствии с законом Паскаля это избыточное давление будет передаваться на поверхность жидкости в колене манометра. В результате уровень жидкости в колене, соединённом с коробочкой, понизится, а в другом колене повысится. По разности высот столбов жидкости в манометре можно судить о том, насколько давление на мембрану отличается от атмосферного.

С помощью металлического манометра измеряют давления сжатого воздуха и других газов. Его основной частью является полая металлическая трубка 1, изогнутая в виде кольца, один конец которой запаян, а другой соединён с сосудом, в котором нужно измерить давление. При увеличении давления трубка разгибается и приводит в движение стрелку манометра 2.

При уменьшении давления трубка благодаря своей упругости возвращается в прежнее положение, а стрелка — к нулевому делению шкалы.



### МОИ ФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

#### Изготовление «баночного барометра».

##### «ПОМОЩНИК»

Возьмите тонкую резиновую плёнку (например, от воздушного шарика) и натяните её на горлышко литровой стеклянной банки. Закрепите плёнку с помощью скотча. Натянутая плёнка будет играть роль упругой мембраны.

Из плотного картона вырежьте узкую полосу и закрепите её с помощью скотча на поверхности плёнки.

Наклейте миллиметровку на картон и нарисуйте шкалу. После этого закрепите шкалу у конца стрелки. Для проведения реальных измерений шкалу можно проградуировать при помощи школьного барометра-анероида.



#### ВОПРОСЫ:

- Для чего используют барометр-анероид?
- Как называют приборы для измерения давлений, больших или меньших атмосферного?
- Почему в открытом манометре уровни однородной жидкости в обоих коленах одинаковы?

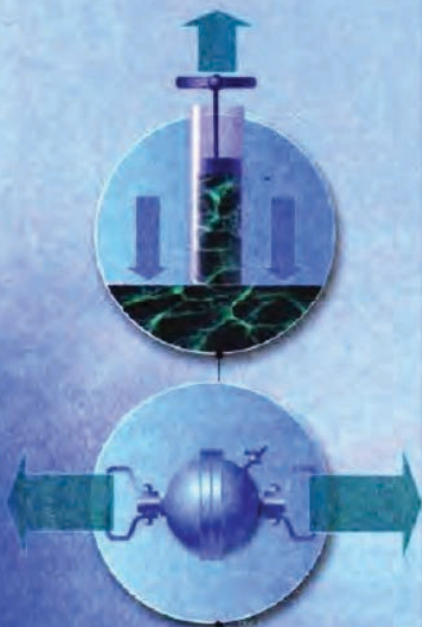
**Манометры, называемые тонометрами, используют врачи при измерении давления крови. Вот как это делается. На руку пациенту надевают полую резиновую манжету, и с помощью насоса врач накачивает в неё воздух. Когда давление сжатого воздуха в манжете становится равным давлению крови, манжета пережимает артерию и пульс у пациента пропадает. В это время врач снимает показания манометра.**





## ПОДВЕДЁМ ИТОГИ

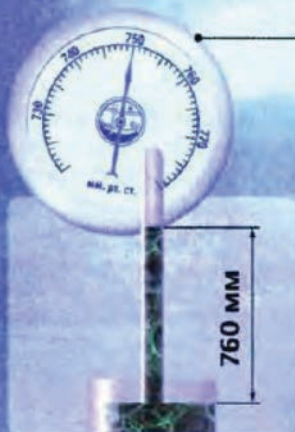
- Под действием силы тяжести верхние слои воздуха атмосферы оказывают давление на её нижние слои. В результате этого земная поверхность и тела, находящиеся на ней, испытывают давление всей толщи воздуха, называемое атмосферным давлением.
- С увеличением высоты над уровнем моря атмосферное давление уменьшается.
- Значение атмосферного давления, равное давлению столба ртути высотой 760 мм при температуре 0 °С, называют нормальным атмосферным давлением.
- На практике используют специальные единицы давления — миллиметры ртутного столба и атмосферу.
- Приборы для измерения атмосферного давления называют барометрами.
- Для измерения давления жидкости или газов используют приборы, которые называют манометрами.



ДЕЙСТВИЕ

АТМОСФЕРНОЕ  
ДАВЛЕНИЕ

ИЗМЕРЕНИЕ



### «ПОДРОБНЕЕ...»

Перельман Я. И. Знаете ли вы физику? Библиотечка «Квант». Вып. 82. — М.: Наука, 1992.

Тит Т. Научные забавы: интересные опыты, самоделки, развлечения. — М.: ИД Мецдерякова, 2010.

Энциклопедия для детей. Т. 16. Физика. Ч. 1. Биография физики. Путешествие в глубь материи. Механическая картина мира. — М.: Аванта+, 2000.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ:

- Ртутный барометр, сохраняя вертикальное положение, падает с большой высоты. Что он показывает при этом?
- Для осуществления своего знаменитого опыта Отто фон Герике потребовалось 16 лошадей. Как вы думаете, сколько лошадей ему потребовалось бы для проведения этого опыта на высоте примерно 5—6 км?





# ЗАКОН АРХИМЕДА. ПЛАВАНИЕ ТЕЛ

- ДЕЙСТВИЕ ЖИДКОСТИ И ГАЗА НА ПОГРУЖЁННОЕ В НИХ ТЕЛО
- ЗАКОН АРХИМЕДА
- ПЛАВАНИЕ ТЕЛ. ВОЗДУХОПЛАВАНИЕ



## КОРОТКО О ГЛАВНОМ...

...Тела, более лёгкие, чем жидкость, опущенные в эту жидкость насильственно, будут выталкиваться вверх... Тела, более тяжёлые, чем жидкость, опущенные в эту жидкость, будут погружаться, пока не дойдут до самого низа, и в жидкости станут легче...

*Архимед*



## ДЕЙСТВИЕ ЖИДКОСТИ И ГАЗА НА ПОГРУЖЁННОЕ В НИХ ТЕЛО

### ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Что такое выталкивающая сила.
- Как определить выталкивающую силу.

### ВСПОМНИТЕ:

- Какое давление называют гидростатическим?
- Как определить давление жидкости на дно сосуда?
- Чему равна равнодействующая двух сил, направленных в противоположные стороны?

Если погрузить в сосуд с водой кусочек пробки, то стоит только отнять руку, как вода вытолкнет пробку на поверхность. Но так происходит не со всеми телами. Не зря существуют выражения: «плавает как пробка» и «камень на дно». Из нашего жизненного опыта мы знаем, что в воде тяжёлый камень поднять гораздо легче, чем в воздухе. Это может означать, что жидкость выталкивает не только лёгкие, но и тяжёлые предметы.

### ВЫТАЛКИВАЮЩАЯ СИЛА

Проверим при помощи опыта гипотезу о том, что вода выталкивает предметы. Привяжем к камню тонкую резинку и измерим её длину. Затем опустим камень, подвешенный на резинке, в сосуд с водой и измерим длину резинки в этом положении. Она стала короче. Такой же эффект мы могли бы получить, если бы действовали на камень снизу вверх с некоторой силой, например приподняли рукой. Наша гипотеза подтвердилась на опыте.

Силу, выталкивающую тело из жидкости или газа, называют **выталкивающей** или **архимедовой силой** по имени древнегреческого учёного Архимеда, который впервые открыл и обосновал её существование.

### КУДА НАПРАВЛЕНА ВЫТАЛКИВАЮЩАЯ СИЛА?

Легко догадаться, что эта сила направлена вертикально вверх. Привяжем короткой ниткой к пробке такой груз, чтобы она погрузилась в воду. Отвесно натянутая нить показывает, что выталкивающая сила, которая действует на пробку, направлена вертикально вверх.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫТАЛКИВАЮЩЕЙ СИЛЫ

Рассчитаем выталкивающую силу, действующую на погружённое в жидкость тело высотой  $h$  и площадью поперечного сечения  $S$ . Плотность жидкости, в которой находится тело, равна  $\rho_{ж}$ .

Силы, действующие на боковые грани тела, парно равны на одном и том же уровне жидкости. Они уравновешивают друг друга и только сжимают тело.

На верхнюю поверхность цилиндра оказывает давление столб воды высотой  $h_1$ , следовательно, это давление равно

$$p_1 = \rho_{ж}gh_1.$$

Тогда силу, с которой вода оказывает давление на верхнюю поверхность цилиндра, определяют по формуле

$$F_1 = \rho_{ж}gh_1S.$$





Давление, оказываемое на нижнюю поверхность цилиндра, равно давлению столба жидкости высотой  $h_2$ :

$$p_2 = \rho_{\text{ж}} g h_2.$$

Силу, с которой жидкость оказывает давление на нижнюю поверхность цилиндра, определяют по формуле

$$F_2 = \rho_{\text{ж}} g h_2 S.$$

Тело выталкивается из жидкости силой  $F_{\text{выт}}$ , равной разности сил  $F_2 - F_1$ :

$$\begin{aligned} F_{\text{выт}} &= F_2 - F_1, \\ F_{\text{выт}} &= \rho_{\text{ж}} g h_2 S - \rho_{\text{ж}} g h_1 S, \\ F_{\text{выт}} &= \rho_{\text{ж}} g S (h_2 - h_1) = \rho_{\text{ж}} g S h, \\ F_{\text{выт}} &= \rho_{\text{ж}} g V. \end{aligned} \quad (1)$$

Обозначим массу жидкости, которая занимает объём, равный объёму тела, через  $m_{\text{ж}}$ . Так как  $m_{\text{ж}} = \rho_{\text{ж}} V$ , получим

$$F_{\text{выт}} = m_{\text{ж}} g = P_{\text{ж}},$$

где  $P_{\text{ж}}$  — вес жидкости, занимающей объём, равный объёму тела.

Итак, на тело, полностью погружённое в жидкость, действует вертикально вверх выталкивающая сила, равная по модулю весу жидкости, вытесненной телом.

**ОТ ЧЕГО ЗАВИСИТ АРХИМЕДОВА СИЛА** Формула (1) показывает, что выталкивающая сила прямо пропорциональна объёму тела и плотности жидкости.

Если погрузить в жидкость тела из одного и того же вещества, но разного объёма, то по изменениям показаний динамометра можно сделать вывод, что *выталкивающая сила тем больше, чем больше объём тела, погружённого в жидкость.*

Если же погрузить одинаковые тела в разные жидкости, отличающиеся по плотности (например, воду и керосин), то по изменениям показаний динамометра можно сделать вывод, что *выталкивающая сила зависит от плотности жидкости: чем больше плотность, тем больше выталкивающая сила.*

**ОТ ЧЕГО НЕ ЗАВИСИТ АРХИМЕДОВА СИЛА** Из формулы (1) следует, что архимедова сила не зависит ни от вещества, из которого сделано тело, ни от глубины погружения. Так, при погружении в жидкость тел, сделанных из разных материалов (например, медь и железо), но одинакового объёма, показания динамометров изменяются на одно и то же значение, хотя в воздухе эти тела имеют разный вес, т. е. *выталкивающая сила не зависит от вещества, из которого сделано тело.*

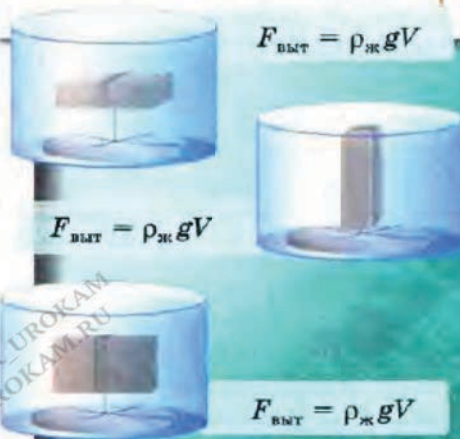
Если изменять глубину погружения тела, подвешенного к динамометру, в жидкости, то показания динамометра не изменятся, т. е. *выталкивающая сила не зависит от глубины погружения тела.*

Силу, выталкивающую тело из жидкости, называют **выталкивающей** или **архимедовой силой** и определяют по формуле

$$F_A = \rho_{\text{ж}} g V,$$

где  $\rho_{\text{ж}}$  — плотность жидкости,  $V$  — объём жидкости, вытесненной телом. Выталкивающая сила направлена противоположно силе тяжести, приложенной к этому телу.

Если погрузить в воду тело, то значение выталкивающей силы не будет зависеть от того, в каком положении оно находится под водой.



#### ВОПРОСЫ:

- Какие примеры явлений вы можете привести, которые указывали бы на существование выталкивающей силы?
- В воду погрузили тело, плотность которого равна плотности жидкости. Будет ли на тело действовать выталкивающая сила? Ответ обоснуйте.



**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

- Как формулируется закон Архимеда.
- Как решаются задачи на расчёт архимедовой силы.

**ВСПОМНИТЕ:**

- Какую силу называют выталкивающей или архимедовой?
- Как определить архимедову силу?
- От каких факторов зависит архимедова сила?
- От каких факторов не зависит архимедова сила?

**Архимед**

(287—212 гг. до н. э.)

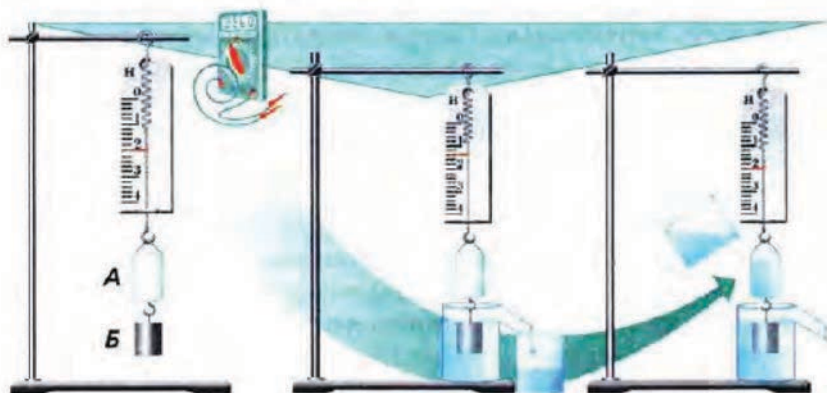
Древнегреческий учёный, философ и математик.

Если на дно стеклянного сосуда, покрытого тонким слоем парафина, положить кусочек парафина с гладким основанием и аккуратно налить воды, то парафин не всплывёт. Это явление объясняется тем, что вследствие несмачивания парафина водой она не проникает между куском парафина и дном сосуда. Поэтому на нижнюю поверхность парафина вода давление не оказывает. Давление воды на верхнюю поверхность куска парафина прижимает его ко дну. Если наклонить кусок парафина так, чтобы вода проникла под его нижнюю поверхность, то он сразу всплывёт.

Изучением силы, выталкивающей тело из жидкости или газа, занимался великий древнегреческий учёный Архимед. Он впервые не только указал на её существование, но и первым научился определять её значение.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ФОРМУЛЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АРХИМЕДОВОЙ СИЛЫ**

Прделаем опыт: пустое ведёрко *A* (ведёрко Архимеда) и сплошной цилиндр *B*, имеющий объём, равный вместимости ведёрка, подвесим к пружине динамометра. Показания динамометра зафиксируем. Затем опустим цилиндр в отливной сосуд, наполненный водой до уровня отливной трубки. Когда цилиндр полностью погрузится в воду, растяжение пружины уменьшится, а часть воды, объём которой равен объёму цилиндра *B*, выльется из отливного сосуда в стакан. Если теперь перелить воду из стакана в ведёрко *A*, то пружина динамометра снова растянется до прежней длины. Это означает, что потеря в весе цилиндра в точности равна весу воды в объёме цилиндра.



Итак, опыт подтвердил, что архимедова (или выталкивающая) сила равна весу жидкости в объёме этого тела, т. е.  $F_A = P_{ж} = m_{ж}g$ .

Масса жидкости  $m_{ж}$ , вытесненной телом, равна её плотности, умноженной на объём тела, погружённого в жидкость (так как объём вытесненной телом жидкости равен объёму тела):

$$m_{ж} = \rho_{ж}V_T.$$

Таким образом, получим  $F_A = \rho_{ж}gV_T$ .

**ЗАКОН АРХИМЕДА** Из описанного опыта видно, что вес тела, погружённого в жидкость, уменьшается на значение, равное архимедовой силе:

$$P_1 = P - F_A = gm - gm_1,$$

где  $m$  — масса тела, а  $m_1$  — масса жидкости в объёме, равном объёму погружённого тела.



Поэтому закон Архимеда формулируется следующим образом: **тело, находящееся в жидкости (или газе), теряет в своём весе столько, сколько весит жидкость (или газ) в объёме, вытесненном телом.**



Гиерон, став царём Сиракуз, решил в благодарность за свои успехи принести в дар бессмертным богам золотую корону. Он заказал её мастеру и приказал выдать ему нужное количество золота. К назначенному сроку корона была готова. Но царю донесли, что вместо части золота мастер примешал такое же количество серебра. Гиерон разгневался, но не смог найти способа уличить мастера в нечестности. Он обратился за помощью к Архимеду.

Архимед знал, что плотность серебра меньше плотности золота, поэтому если при изготовлении короны использовали сплав, а не чистое золото, то плотность вещества короны должна быть меньше плотности золота. Взвесить корону было легко, но найти её объём трудно, так как корона была очень сложной формы. Однажды, когда Архимед был в

бане и погрузился в наполненную водой ванну, его внезапно осенила мысль, давшая решение задачи. Архимед сделал два слитка: один из золота, другой из серебра, каждый такого же веса, какого была корона. Затем наполнил водой сосуд до самых краёв, опустил в него серебряный слиток и отметил, сколько воды он вытеснил. При этом ему удалось установить, что вес серебряного слитка соответствует вполне определённому объёму воды. Повторив опыт со слитком золота, Архимед увидел, насколько меньший объём он занимает по сравнению с объёмом равного ему по весу слитка серебра. Затем, опустив в сосуд корону, нашёл, что воды вытекло больше, чем при погружении золотого слитка. А ведь вес каждого слитка был равен весу короны! Таким образом, была обнаружена примесь серебра и недобросовестность мастера.

**РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ, ЗАДАННОЙ АРХИМЕДУ** Решим задачу, которую царь Гиерон предложил решить Архимеду. Ему нужно было определить, из чистого ли золота изготовлена корона. Архимед определил, что вес короны Гиерона в воздухе равен 9,8 Н, а в воде — 9,2 Н.

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:
$P_{\text{в}} = 9,8 \text{ Н}$
$P_{\text{ж}} = 9,2 \text{ Н}$
$\rho_{\text{ж}} = 1000 \text{ кг/м}^3$
$\rho_{\text{к}} = ?$

Решение:  
Найдём плотность короны  $\rho_{\text{к}}$  и её массу  $m_{\text{к}}$ :

$$\rho_{\text{к}} = \frac{m_{\text{к}}}{V_{\text{к}}}; \quad m_{\text{к}} = \frac{P_{\text{в}}}{g}$$

Определим архимедову силу  $F_{\text{А}}$ , действующую на корону, и объём короны  $V_{\text{к}}$ :

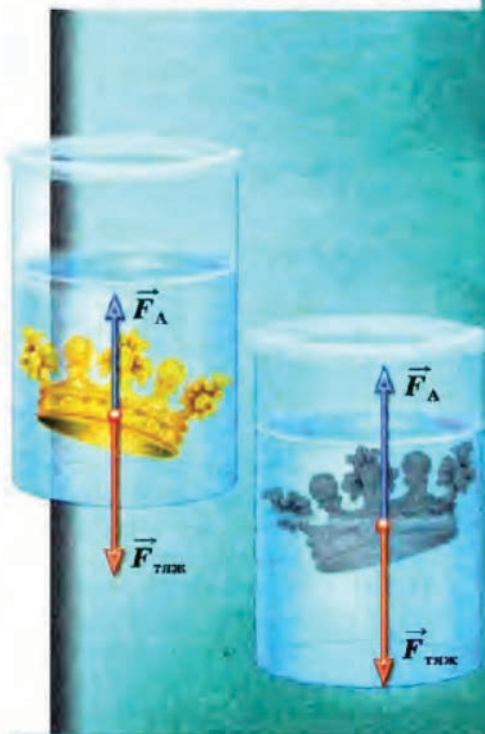
$$F_{\text{А}} = \rho_{\text{ж}} g V_{\text{к}} = P_{\text{в}} - P_{\text{ж}}; \quad V_{\text{к}} = \frac{P_{\text{в}} - P_{\text{ж}}}{\rho_{\text{ж}} g}$$

Отсюда плотность короны  $\rho_{\text{к}}$  равна:

$$\rho_{\text{к}} = \frac{\rho_{\text{ж}} P_{\text{в}}}{P_{\text{в}} - P_{\text{ж}}};$$

$$\rho_{\text{к}} = \frac{1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9,8 \text{ Н}}{9,8 \text{ Н} - 9,2 \text{ Н}} \approx 16\,300 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Ответ: так как плотность золота равна  $19\,300 \text{ кг/м}^3$ , корона сделана не из чистого золота.



#### ВОПРОСЫ:

- Где легче плавать: в пресном озере или в море?
- Будет ли выголяться закон Архимеда в состоянии невесомости? Обоснуйте свой ответ.



## ПЛАВАНИЕ ТЕЛ. ВОЗДУХОПЛАВАНИЕ

### ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Каковы условия плавания тел.
- Каковы особенности плавания животных и человека.
- Как плавают суда.
- Почему возможно воздухоплавание.

### ВСПОМНИТЕ:

- Какие силы действуют на погружённое в воду тело?

Выясним, почему одни тела в воде тонут, другие всплывают, а третьи (например, рыбы, подводные лодки) способны плавать внутри жидкости.

**УСЛОВИЯ ПЛАВАНИЯ ТЕЛ** Рассмотрим эксперимент, с помощью которого можно определить условия плавания тел. Если опустить в пресную воду сырое яйцо, оно опустится на дно сосуда. Если же в воду добавить соль, то это же яйцо не утонет, а будет плавать на поверхности. Теперь добавим в сосуд с солёной водой немного пресной воды. Яйцо начнёт погружаться в воду и будет плавать внутри жидкости.

Почему же в случае, когда вода пресная, яйцо тонет, а когда солёная — всплывает? На тело, находящееся внутри жидкости, действуют две силы: сила тяжести, направленная вертикально вниз, и архимедова сила, направленная вертикально вверх. А архимедова сила, как известно, зависит от плотности жидкости. Плотность жидкости мы и меняли, добавляя соль в стакан. Плотность солёной воды больше плотности пресной воды, поэтому выталкивающая сила в солёной воде увеличивается и яйцо всплывает.

На тело, погружённое в жидкость, действует сила тяжести и архимедова сила. В зависимости от того, какая сила больше, тело будет либо всплывать, либо погружаться.

Когда тело всплывает и достигает поверхности жидкости, то при его дальнейшем движении вверх архимедова сила уменьшается, потому что уменьшается объём части тела, погружённого в жидкость. Тело будет продолжать движение вверх до тех пор, пока сила тяжести и архимедова сила не уравновесятся. В этот момент всплытие прекратится, а часть тела останется погружённой в жидкость.



Тело всплывает

$$F_A > F_{\text{тяж}}$$

Тело плавает

$$F_A = F_{\text{тяж}}$$



Тело тонет

$$F_A < F_{\text{тяж}}$$



Тело всплывает, если сила тяжести  $F_{\text{тяж}}$  меньше архимедовой силы  $F_A$ . В этом случае плотность плавающего тела меньше плотности жидкости.

Если сила тяжести  $F_{\text{тяж}}$  равна архимедовой силе  $F_A$ , то тело будет находиться в равновесии в любом месте внутри жидкости, т. е. оно будет плавать. В этом случае плотность тела равна плотности жидкости.

Тело тонет (опускается на дно), если сила тяжести  $F_{\text{тяж}}$  больше архимедовой силы  $F_A$ . При этом плотность тела больше плотности жидкости.





Подводный мир Земли поражает своим многообразием. Науке известно огромное число видов растений и животных, обитающих на различных глубинах Мирового океана. Что общего в условиях плавания огромных китов, маленьких медуз и глубоководных рыб-удильщиков? Ответ очевиден: все эти организмы приспособлены к своей среде обитания, так как их средняя плотность близка к плотности воды на той глубине, на которой они обитают.

**ПЛАВАНИЕ СУДОВ** Можно ли заставить плавать тело, изготовленное из материала, плотность которого больше плотности воды? Можно! Морские и речные суда, изготовленные из стали и железа, прекрасно плавают. Дело в том, что в них много пустот с воздухом, поэтому средняя плотность судна будет меньше плотности воды. Большие корабли вытесняют такой большой объём воды, что выталкивающая сила, действующая на них, является вполне достаточной для того, чтобы удерживать их на плаву.

Глубину, на которую судно погружается в воду, называют **осадкой**.



Наибольшая допустимая осадка отмечается на корпусе красной линией — это **ватерлиния**.

Вес воды, вытесняемой подводной частью судна, равен весу судна с грузом в воздухе или силе тяжести, действующей на судно с грузом.

Вес воды, вытесняемой судном при погружении до ватерлинии, равный силе тяжести, действующей на судно с грузом, называют **водоизмещением**.

**Грузоподъёмность** — разность между водоизмещением судна и весом самого судна.

**ВОЗДУХОПЛАВАНИЕ** Официальная дата начала эры воздухоплавания — 5 июня 1783 г., когда братьям Монгольфье удалось поднять в воздух тепловой аэростат — воздушный шар, наполненный горячим воздухом. К нижней части оболочки крепилась плетёная корзина для размещения людей и груза.

Для того чтобы шар поднялся над Землёй, необходимо, чтобы архимедова (выталкивающая) сила  $F_A$  была больше силы тяжести  $F_{тяж}$ . Чтобы определить, какой груз способен поднять воздушный шар, следует знать его подъёмную силу. Подъёмная сила воздушного шара равна разности между архимедовой силой, действующей на шар, и силой тяжести шара с газом:

$$F = F_A - F_{тяж}$$

Подъёмная сила воздушного шара зависит от плотности наполняющего его газа: чем она меньше, тем подъёмная сила больше.



**Закон Архимеда** справедлив и для жидкостей, и для газов. В газах также существует выталкивающая сила. Именно поэтому, например, возможен полёт воздушных шаров.

#### ВОПРОСЫ:

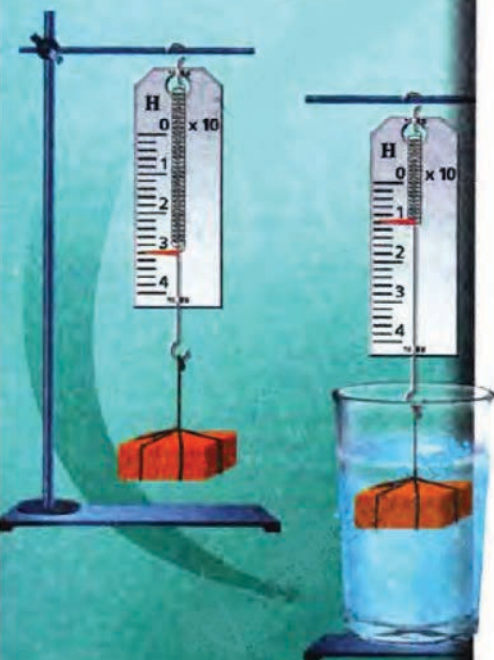
- При каком условии тело, находящееся в жидкости, тонет? плавают? всплывает?
- Как зависит глубина погружения в жидкость плавающего тела от его плотности?
- Как рассчитать подъёмную силу воздушного шара?



## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

## ВЫ УЗНАЕТЕ:

● Как решать задачи на закон Архимеда.



**ЗАДАЧА 1** Вес кирпича в воздухе равен 30 Н, в воде — 10 Н. Чему равна действующая на кирпич архимедова сила?

Запишем условие задачи и решим её.

Дано: $P_{\text{в}} = 30 \text{ Н}$ $P_{\text{ж}} = 10 \text{ Н}$ $F_{\text{А}} = ?$	Решение: $F_{\text{А}} = P_{\text{в}} - P_{\text{ж}};$ $F_{\text{А}} = 30 \text{ Н} - 10 \text{ Н} = 20 \text{ Н}.$
---	---

Ответ:  $F_{\text{А}} = 20 \text{ Н}.$

**ЗАДАЧА 2** На погружённый в воду кирпич действует выталкивающая сила, равная 20 Н. Чему равен объём этого кирпича?

Запишем условие задачи и решим её.

Дано: $F_{\text{А}} = 20 \text{ Н}$ $\rho_{\text{ж}} = 1000 \text{ кг/м}^3$ $V_{\text{к}} = ?$	Решение: $F_{\text{А}} = \rho_{\text{ж}} g V_{\text{к}};$ $V_{\text{к}} = \frac{F_{\text{А}}}{\rho_{\text{ж}} g};$ $V_{\text{к}} = \frac{20 \text{ Н}}{1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}} \approx 0,002 \text{ м}^3 = 2 \text{ дм}^3.$
---	---

Ответ:  $V_{\text{к}} = 2 \text{ дм}^3.$

**ЗАДАЧА 3** Прямоугольный паром длиной 40 м и шириной 15 м находится под погрузкой. Определите максимальный вес груза, который можно погрузить на паром, если расстояние от поверхности воды до ватерлинии незагруженного парома равно 0,7 м.

Запишем условие задачи и решим её.

Дано: $l = 40 \text{ м}$ $d = 15 \text{ м}$ $h = 0,7 \text{ м}$ $\rho_{\text{ж}} = 1000 \text{ кг/м}^3$ $P = ?$	Решение: Дополнительный объём воды, вытесненный загруженным паромом, равен $V = ldh.$ Дополнительная выталкивающая сила, действующая на загруженный паром, равна $F_{\text{А}} = \rho_{\text{ж}} g V.$
--	--

Тогда максимальный вес груза можно определить:

$$P = F_{\text{А}} = \rho_{\text{ж}} g l d h;$$

$$P = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 40 \cdot 15 \cdot 0,7 \text{ м}^3 = 4200 \text{ кН}.$$

Ответ:  $P = 4200 \text{ кН}.$





**ЗАДАЧА 4** Шар-зонд объёмом  $90 \text{ м}^3$  наполнен водородом и привязан верёвкой к земле. С какой силой натянута верёвка, если масса оболочки зонда равна  $50 \text{ кг}$ ? Плотность водорода составляет  $0,09 \text{ кг/м}^3$ , а плотность воздуха —  $1,29 \text{ кг/м}^3$ .

Запишем условие задачи и решим её.



Дано:

$$V = 90 \text{ м}^3$$

$$m = 50 \text{ кг}$$

$$\rho_{\text{вод}} = 0,09 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_{\text{возд}} = 1,29 \text{ кг/м}^3$$

$F = ?$

Решение:

Определим силу тяжести, действующую на оболочку:

$$F_{\text{об}} = mg.$$

Определим силу тяжести, действующую на водород, содержащийся в оболочке:

$$F_{\text{вод}} = m_{\text{вод}}g = \rho_{\text{вод}}Vg.$$

Архимедова сила, действующая на шар-зонд:

$$F_A = \rho_{\text{возд}}gV.$$

Сила, действующая на верёвку, в этом случае равна разности архимедовой силы и суммарному весу оболочки и водорода, наполняющего её:

$$F = F_A - (F_{\text{об}} + F_{\text{вод}});$$

$$F = \rho_{\text{возд}}gV - (mg + \rho_{\text{вод}}Vg) = (\rho_{\text{возд}} - \rho_{\text{вод}})gV - mg;$$

$$F = (1,29 - 0,09) \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 90 \text{ м}^3 - 50 \text{ кг} \cdot 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} = 580 \text{ Н}.$$

Ответ:  $F = 580 \text{ Н}$ .

**ЗАДАЧА 5** Определите, какой объём должен иметь воздушный шарик, заполненный гелием, чтобы поднять от поверхности земли брусок массой  $0,1 \text{ кг}$ . Массой оболочки шарика можно пренебречь. Плотность гелия равна  $0,18 \text{ кг/м}^3$ , плотность воздуха —  $1,29 \text{ кг/м}^3$ .

Запишем условие задачи и решим её.



Дано:

$$m_b = 0,1 \text{ кг}$$

$$\rho_{\text{гел}} = 0,18 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_{\text{возд}} = 1,29 \text{ кг/м}^3$$

$V = ?$

Решение:

Для того чтобы шарик с бруском поднялся в воздух, сила тяжести  $F_{\text{тяж}}$ , действующая на шарик, должна уравновеситься архимедовой силой  $F_A$ :

$$F_A = F_{\text{тяж}}.$$

Сила тяжести, действующая на шарик вместе с грузом, равна весу бруска  $P_b$  и весу гелия  $P_{\text{гел}}$ , содержащегося в объёме шарика:

$$F_{\text{тяж}} = P_b + P_{\text{гел}}.$$

Тогда  $F_A = P_b + P_{\text{гел}}$ ;  $\rho_{\text{возд}}gV = mg + \rho_{\text{гел}}gV$ .

Отсюда

$$V = \frac{m}{\rho_{\text{возд}} - \rho_{\text{гел}}};$$

$$V = \frac{0,1 \text{ кг}}{1,29 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} - 0,18 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} = 0,09 \text{ м}^3.$$

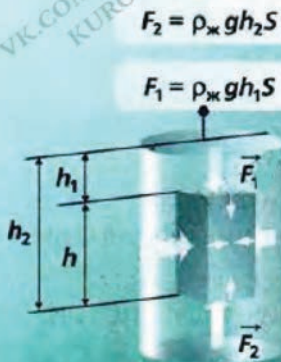
Ответ:  $V = 0,09 \text{ м}^3$ .





## ПОДВЕДЕМ ИТОГИ

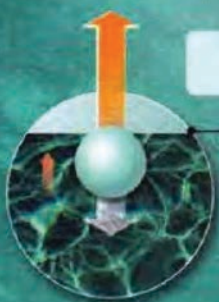
- На тело, погружённое в жидкость или газ, действует вертикально вверх выталкивающая, или архимедова, сила.
- Архимедова сила зависит от объёма тела, погружённого в жидкость, и от плотности жидкости. Она не зависит ни от вещества, из которого сделано тело, ни от глубины погружения.
- Тело, находящееся в жидкости (или газе), теряет в своём весе столько, сколько весит жидкость (или газ) в объёме, вытесненном телом.
- Если тело погрузить в жидкость, то, чем меньше плотность тела по сравнению с плотностью жидкости, тем меньшая часть тела будет находиться в жидкости.
- Способность тела плавать в жидкости зависит от соотношения силы тяжести и архимедовой силы, действующей на него.



$$F_A < F_{тяж}$$



$$F_A = F_{тяж}$$



$$F_A > F_{тяж}$$

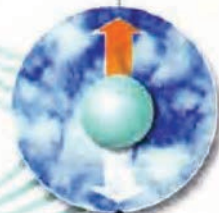
$$F_A = \rho_{ж} g V_T$$



**АРХИМЕДОВА СИЛА**

**В ЖИДКОСТИ**

$$F = F_A - F_{тяж}$$



**В ГАЗЕ**

### «ПОДРОБНЕЕ...»

- Перельман Я. И. Занимательная физика. Кн. 1. — М.: Римис, 2009.
- Перельман Я. И. Занимательная физика. Кн. 2. — М.: Римис, 2010.
- Тит Т. Научные забавы: интересные опыты, самоделки, развлечения. — М.: ИД Мещерякова, 2010.
- Энциклопедия для детей. Т. 14. Техника. — М.: Аванта+, 2001.

Российский  
общеобразовательный портал  
[http://experiment.edu.ru/  
catalog.asp](http://experiment.edu.ru/catalog.asp)

### ВОПРОСЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ:

- В замкнутом сосуде с водой плавает деревянный брусок. Изменится ли глубина погружения бруска в воду, если в сосуд накачать воздух?
- Что произойдёт с уровнем воды в бассейне, если из лодки, плавающей в нём, бросить в воду бревно?





# РАБОТА, МОЩНОСТЬ, ЭНЕРГИЯ

- МЕХАНИЧЕСКАЯ РАБОТА
- МОЩНОСТЬ
- ЭНЕРГИЯ
- ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ И КИНЕТИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ
- ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ
- ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ
- НЕВОЗМОЖНОСТЬ СОЗДАНИЯ ВЕЧНОГО ДВИГАТЕЛЯ



## КОРОТКО О ГЛАВНОМ...

Все встречающиеся в природе изменения происходят так, что если к чему-либо нечто прибавилось, то это отнимается у чего-то другого...

*М. Ломоносов*



**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

- Что такое механическая работа.
- Как рассчитать механическую работу.
- Когда механическая работа положительна, когда отрицательна и когда равна нулю.

**ВСПОМНИТЕ:**

- Что такое сила?
- Каковы единицы силы?

Во всех технических устройствах, от самых простых до крайне сложных, всегда действуют силы, которые совершают работу при движении механизма или отдельных его частей. Так, например, в старинных паровых машинах сила давления пара на поршень совершает работу при движении поршня. А в современных электрических двигателях силы взаимодействия электрических токов совершают работу при вращении мотора.

Если обозначить величины: работа —  $A$ , сила, действующая на тело, —  $F$  и пройденный путь —  $s$ , то работу рассчитывают по формуле

$$A = Fs,$$

если направление силы совпадает с направлением движения тела.

В старших классах вы узнаете, как вычислять работу силы, направленной под углом к направлению движения тела.

**МЕХАНИЧЕСКАЯ РАБОТА**

В обыденной жизни словом «работа» мы называем различные действия человека или технического устройства. Например, мы говорим: работает учитель, работает врач, работает грузчик, работает холодильник, работает компьютер. Хотя мы прекрасно понимаем, что речь идёт о разных вещах, и не стремимся сравнить результаты работы грузчика с результатами работы компьютера.

**ПРИМЕРЫ МЕХАНИЧЕСКОЙ РАБОТЫ** В физике термин «работа» или «механическая работа» — это определённая физическая величина, которую можно измерить.

Автомобиль движется по автомагистрали благодаря силе тяги работающего двигателя. Мяч под действием силы тяжести падает на поверхность Земли. В этих примерах на тела действуют силы, изменяется их скорость и положение в пространстве — совершается механическая работа.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ РАБОТЫ** Считается, что механическая работа совершается, когда тело движется под действием силы. Таким образом, в физике понятие работы напрямую связано с силой (нет силы — нет работы). Поэтому принято говорить о *работе некоторой силы*.



Механической работой называют физическую величину, зависящую от численного значения и направления силы и от перемещения точки её приложения. Механическая работа совершается только тогда, когда на тело действует сила и тело перемещается под действием этой силы. Следовательно, механическая работа прямо пропорциональна приложенной силе и прямо пропорциональна пути.

Таким образом, в самом простом случае работа равна произведению силы, действующей на тело, на путь, пройденный телом под действием этой силы:

$$\text{работа} = \text{сила} \times \text{путь}.$$

Если направление силы совпадает с направлением движения тела, то данная сила совершает *положительную* работу. Например, мы везём по снегу санки, и направление приложенной нами силы совпадает с направлением движения.

В этом случае сила совершает положительную работу, которую определяют по формуле

$$A = Fs.$$



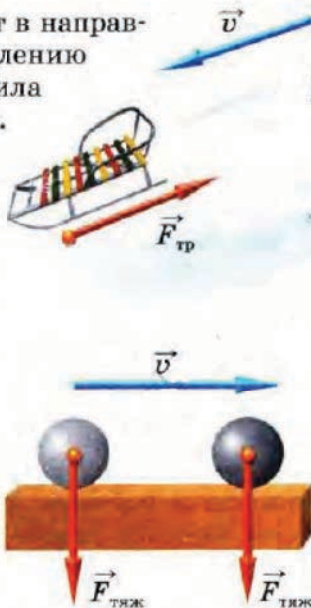


Если движение тела происходит в направлении, противоположном направлению приложенной силы, то данная сила совершает *отрицательную работу*.

Отрицательная работа, например, совершается силой трения скольжения в случае, когда санки, скатившись с горы, движутся по снегу вплоть до полной остановки. В данном случае работа будет определяться по формуле

$$A = -Fs.$$

Если направление силы, действующей на тело, перпендикулярно направлению движения, то эта сила работы не совершает, *работа равна нулю*.



**ЕДИНИЦЫ РАБОТЫ** За единицу работы принимают работу, совершаемую силой в 1 Н, на пути, равном 1 м. Единица работы — *джоуль* (Дж) названа в честь английского учёного Джеймса Джоуля.

$$1 \text{ Дж} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Также часто используют *килоджоули* и *миллиджоули*:

$$1 \text{ кДж} = 1000 \text{ Дж},$$

$$1 \text{ мДж} = 0,001 \text{ Дж}.$$

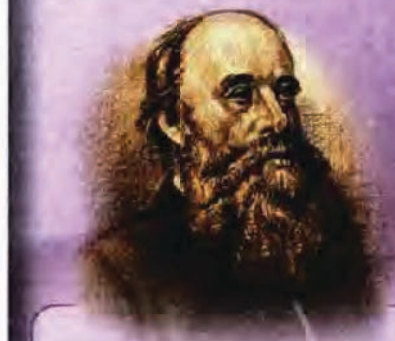
**СИТУАЦИИ, В КОТОРЫХ МЕХАНИЧЕСКАЯ РАБОТА НЕ СОВЕР-**

**ШАЕТСЯ** Мы уже знаем, что если сила действует перпендикулярно направлению движения тела, то работа этой силы равна нулю. А в каких ещё случаях работа может быть равна нулю? Очевидно, что в случае, когда равны нулю либо силы, действующие на тело, либо под действием сил тело не перемещается.

Например, после выключения двигателя ракета, летящая в открытом космосе, продолжает движение по инерции. В этом случае нет действующей на тело силы и механическая работа не совершается.

Если мы стараемся сдвинуть с места тяжёлый предмет, но сила, с которой мы на него действуем, меньше максимально возможной в этом случае силы трения покоя, то предмет останется на месте. Поэтому, несмотря на нашу усталость, механической работы не совершалось, так как не было перемещения тела.

Как бы ни было тяжело мифологическому герою Атланту, держащему на плечах небесный свод, механической работы при этом он не совершал, так как небесный свод в этом случае не двигался.



**Джеймс Прескотт Джоуль**  
(1818—1889)

Английский физик, член Лондонского королевского общества.



### ВОПРОСЫ:

- Какие два условия необходимы для совершения механической работы?
- Может ли механическую работу совершить сила трения покоя? Приведите соответствующие примеры.
- Пробковый поплавок равномерно всплывает в воде. Совершает ли работу архимедова сила?



## МОЩНОСТЬ

### ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Что такое мощность.
- Как рассчитать мощность.
- Единицы мощности.

### ВСПОМНИТЕ:

- Что такое механическая работа?
- Как рассчитать механическую работу?



Если обозначить величины: мощность —  $N$ , работа —  $A$  и время, затраченное на работу —  $t$ , то мощность рассчитывают по формуле

$$N = \frac{A}{t}.$$



**Джеймс Уатт**  
(1736—1819)

Английский изобретатель, создатель универсальной паровой машины, член Лондонского королевского общества.

Слово «мощность» всем нам хорошо знакомо и употребляется достаточно часто. Мы говорим, что один автомобиль мощнее другого, и, как нам кажется, хорошо понимаем, что означают эти слова.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ** В физике существует физическая величина «мощность», которая напрямую связана с понятием работы.

Нам всем хорошо известно, что одна и та же работа может быть совершена за разное время. Например, лошадь, везущая гружёные сани, может в одном случае двигаться медленно и перевезти их на определённое расстояние за полчаса. В другом случае та же лошадь, двигаясь быстрее, перевезёт эти же сани на то же самое расстояние за меньшее время. В этом примере одна и та же механическая работа совершается за разное время.

Физическую величину, характеризующую быстроту выполнения работы, называют **мощностью**. Мощность показывает, какая работа совершается за единицу времени. Таким образом, чтобы найти мощность, надо механическую работу разделить на время, за которое она совершена.

Мощность равна отношению работы ко времени, за которое она была совершена.

$$\text{Мощность} = \frac{\text{работа}}{\text{время}}.$$

**ЕДИНИЦЫ МОЩНОСТИ** За единицу мощности принимают такую мощность, при которой за 1 с совершается работа в 1 Дж. Эту единицу называют *ваттом* (Вт) в честь английского учёного Джеймса Уатта.

$$1 \text{ Вт} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{с}}.$$

В технике широко используют более крупные единицы мощности — *киловатт* (кВт) и *мегаватт* (МВт), а также более мелкую единицу — *милливатт* (мВт):

$$1 \text{ МВт} = 1000 \text{ 000 Вт},$$

$$1 \text{ кВт} = 1000 \text{ Вт},$$

$$1 \text{ мВт} = 0,001 \text{ Вт}.$$

Также применяется внесистемная единица мощности — лошадиная сила (1 л.с.):

$$1 \text{ л.с.} = 735,5 \text{ Вт}.$$

**РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ** Рассчитаем мощность двигателя подъёмной машины, если она может поднять кирпичи массой 500 кг на высоту 10 м за 10 с. Сравним полученную







**Джеймс Уатт** — английский изобретатель, первым построивший паровую машину, в качестве единицы мощности использовал лошадиную силу. С её помощью он сравнивал работоспособность лошади и своей паровой машины. Эту единицу часто используют и в наши дни для характеристики мощности двигателей автомобиля. Однако мощность, равная одной «лошадиной силе» (735,5 Вт) на самом деле значительно больше той, которую средняя лошадь способна развивать сколько-нибудь долгое время.

мощность с мощностью, которую развил бы рабочий, поднимая эти же кирпичи на ту же высоту, если ему потребуется для этого 1 ч.

Запишем условие задачи и решим её.



Дано: $m = 500 \text{ кг}$ $h = 10 \text{ м}$ $t_1 = 10 \text{ с}$ $t_2 = 1 \text{ ч}$	СИ     3600 с	Решение: Сила тяжести, действующая на кирпичи: $F_{\text{тяж}} = mg$ ; $F_{\text{тяж}} = 500 \text{ кг} \cdot 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \approx 5000 \text{ Н}$ . Работа, совершаемая внешней силой по подъёму кирпичей: $F_{\text{внеш}} = F_{\text{тяж}}$
$N_1 = ?$ $N_2 = ?$		

$$A = F_{\text{внеш}} \cdot h;$$

$$A = 5000 \text{ Н} \cdot 10 \text{ м} = 50\,000 \text{ Дж}.$$

Мощность подъёмной машины:

$$N_1 = \frac{A}{t_1},$$

$$N_1 = \frac{50\,000 \text{ Дж}}{10 \text{ с}} = 5000 \text{ Вт} = 5 \text{ кВт}.$$

Мощность рабочего:

$$N_2 = \frac{A}{t_2},$$

$$N_2 = \frac{50\,000 \text{ Дж}}{3600 \text{ с}} = 14 \text{ Вт}.$$

Ответ:  $N_1 = 5 \text{ кВт}$ ,  $N_2 = 14 \text{ Вт}$ .



**Мощность** является важной характеристикой любого двигателя. Различные двигатели имеют мощности от сотых и десятых долей киловатта (двигатель электрической бритвы, швейной машины) до миллионов киловатт (двигатели ракет-носителей космических кораблей). Например, мощность двигателя автомобиля «Жигули» равна 75 кВт, мощность электрической плиты — 8000 Вт, а мощность двигателя космического корабля составляет 20 000 000 кВт. Можно также оценить мощность человека при ходьбе, она в среднем равна 60 Вт. А мощность бегущего гепарда достигает 1 кВт.



#### ВОПРОСЫ:

- Что характеризует мощность?
- По какой формуле рассчитывают мощность?
- Что принимают за единицу мощности?
- В какой момент времени бегун на короткие дистанции развивает большую мощность: в момент старта или в момент финиша?
- Почему на гоночные автомобили устанавливают более мощные двигатели, чем на обычные автомобили?

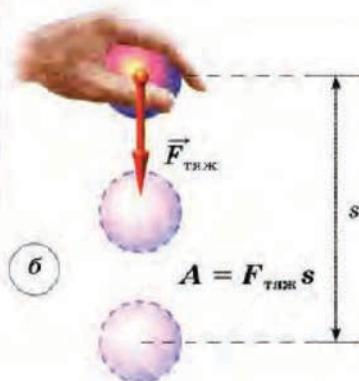


**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

- Что такое энергия.
- В каком случае тело обладает энергией.
- Что такое потенциальная энергия.
- Что такое кинетическая энергия.

**ВСПОМНИТЕ:**

- Что такое механическая работа?
- В каком случае совершается механическая работа?

**МЕХАНИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ**

При определённых условиях действующие на тело силы могут совершить механическую работу.

Так, сила упругости совершает работу при распрямлении пружины *a*, поднимая груз.

Сила тяжести совершит работу, если шарик отпустить и дать ему упасть на землю *б*.



Про тело, посредством которого может совершиться работа действующими на него силами, говорят, что оно обладает энергией. Энергия — это физическая величина, характеризующая способность тела совершить работу.

Чем большую работу может совершить тело, тем большей энергией оно обладает.

В рассмотренных выше примерах посредством тел совершили механическую работу. Однако если мяч лежит на поверхности Земли, а пружина совсем не деформирована, то эти тела механической энергией не обладают.

**ЕДИНИЦЫ ЭНЕРГИИ** Энергию выражают в СИ в тех же единицах, что и работу, т. е. в *джоулях*.

**ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ** От чего может зависеть энергия поднятого мячика? Очевидно, что от высоты, на которой находится мячик, т. е. энергия зависит от взаимного расположения тел — мяча и Земли.

От чего зависит энергия сжатой пружины? От деформации пружины, т. е. от взаимного расположения её витков, а витки пружины — это части одного тела.

Часто мы говорим о работе тела. При этом всегда имеется в виду, что работу совершает сила, возникающая при взаимодействии этого тела с другим.

Энергию, которая определяется взаимным положением взаимодействующих тел или частей одного и того же тела, называют **потенциальной** (от лат. *potentia* — возможность) **энергией**. Камень, поднятый над поверхностью Земли, деформированная (сжатая или растяну-

**К** механическим видам энергии относятся: энергия, связанная с положением тела над поверхностью Земли, энергия, связанная с деформацией тела, и энергия, связанная с движением тела.



тая) пружина, сжатый газ, вода в реках, удерживаемая плотинами — всё это примеры тел, обладающих потенциальной энергией.



Огромная потенциальная энергия речной воды, поднятой плотинами, используется для получения электроэнергии. Падая с большой высоты, вода приводит в движение турбины гидроэлектростанций.

Потенциальная энергия поднятого над поверхностью Земли копра расходуется на совершение работы по забиванию свай при строительстве домов.

**КИНЕТИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ** Движущийся автомобиль может совершить работу, а это значит, что он обладает энергией даже при выключенном моторе. Энергией обладают движущийся вагон, плывущее судно, летящий самолёт.



Тот факт, что движущееся тело способно совершить механическую работу, было известно в глубокой древности. Например, для разрушения стен древние римляне использовали таран. Он представлял собой крепкое бревно, на один конец которого была насажена железная «голова». Несколько человек раскачивали таран взад и вперёд, а когда он набирал скорость, ударяли им о стену.



Энергию, которой обладает тело вследствие своего движения, называют **кинетической** (от греч. *kinema* — движение) энергией.

Кинетическую энергию движущейся воды используют в работе гидроэлектростанций.

Кинетическая энергия ветра приводит в движение лопасти ветряных двигателей, используемых для получения электрической энергии.



#### ВОПРОСЫ:

- В каком случае можно сказать, что тело обладает энергией?
- Какую физическую величину называют энергией?
- В чём заключается отличие работы от энергии?
- Какую энергию называют потенциальной?
- Какую энергию называют кинетической?



## ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ И КИНЕТИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ

### ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Как рассчитать потенциальную энергию поднятого над Землёй тела.
- Как рассчитать кинетическую энергию.

### ВСПОМНИТЕ:

- Что такое энергия?
- Каковы единицы энергии?

Если обозначить величины:

$E_{\text{п}}$  — потенциальная энергия,  $g$  — ускорение свободного падения,  $m$  — масса тела,  $h$  — высота, на которую поднято тело, то потенциальную энергию рассчитывают по формуле

$$E_{\text{п}} = mgh.$$



Если обозначить величины:

$E_{\text{к}}$  — кинетическая энергия,  $m$  — масса тела,  $v$  — скорость движения тела, то кинетическую энергию рассчитывают по формуле

$$E_{\text{к}} = \frac{mv^2}{2}.$$

Из-за большой кинетической энергии любые автомобили (и тяжёлые, и лёгкие), движущиеся с превышением скорости, представляют собой особую опасность на дороге.

В разделе физики «Механика» различают два вида энергии, которой может обладать тело. Энергию, которая определяется взаимным положением взаимодействующих тел или взаимным расположением частей одного и того же тела, называют потенциальной энергией. А энергию, которой обладает тело вследствие своего движения, называют кинетической.

### ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ ПОДНЯТОГО НАД ЗЕМЛЁЙ ТЕЛА

Вычислим потенциальную энергию  $E_{\text{п}}$  тела массой  $m$ , поднятого над поверхностью Земли на высоту  $h$ . Будем считать потенциальную энергию тела, лежащего на поверхности Земли, равной нулю (так как без приложения какой-либо силы к этому телу оно не может совершить механическую работу). Тогда потенциальная энергия тела, поднятого на некоторую высоту, будет определяться работой, которую совершит сила тяжести при падении тела на поверхность Земли:

$$E_{\text{п}} = A.$$

Работа, как известно, равна  $A = F_{\text{тяж}}h$ , а сила тяжести  $F_{\text{тяж}} = mg$ . Тогда

$$E_{\text{п}} = mgh,$$

где  $g$  — ускорение свободного падения,  $m$  — масса тела,  $h$  — высота, на которую поднято тело. ➔

### ОТ ЧЕГО ЗАВИСИТ КИНЕТИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ

Обратимся ещё раз к примеру использования тарана. Очевидно, что, чем толще и крепче стена, которую необходимо разрушить, тем большую механическую работу нужно совершить. При одной и той же скорости движения чем больше масса тарана, тем большей разрушительной силой он обладает. Следовательно, *кинетическая энергия тела зависит от его массы.*

С другой стороны, чем быстрее таран движется, тем сильнее разрушения, которые он производит. Однако при появлении тяжёлых орудий на замену тарану пришли пушки. Почему? Всё дело в скорости, с которой движется пушечное ядро или снаряд. Невзирая на то, что их масса уступает массе тарана, разрушения, производимые ими, намного сильнее. Значит, *чем больше скорость движущегося тела, тем больше его кинетическая энергия.*

Интуитивно понятно, что в данном случае зависимость





кинетической энергии от скорости сильнее, чем зависимость от массы.

Таким образом, чем больше масса тела и скорость, с которой оно движется, тем больше его кинетическая энергия.

**ТОРМОЗНОЙ ПУТЬ АВТОМОБИЛЯ** Умение определять кинетическую энергию тела помогает в решении огромного количества практических задач.

Пусть машина массой  $m$ , движущаяся со скоростью  $v$ , начинает тормозить, чтобы остановиться. Путь  $s$ , который пройдёт машина с момента начала торможения до полной остановки, называют **тормозным путём**. На этом пути сила трения совершает отрицательную работу:

$$A = -F_{\text{тр}} s,$$

так как направление действия силы трения и движения противоположны.

Кинетическая энергия машины изменяется от максимального значения  $E_k = mv^2/2$  до 0. Изменение кинетической энергии также отрицательно и равно, как показывает опыт, совершённой работе, т. е.

$$\frac{mv^2}{2} = F_{\text{тр}} s.$$

Кинетическая энергия тел с древности использовалась людьми не только для технических нужд, но и в военном деле. Стрела, выпущенная из лука, обладает достаточной кинетической энергией. Именно поэтому она способна пробить даже металлические латы воина. Использование кинетической энергии объясняет принцип действия древних ударных машин, баллист и катапульт.

**Катапульты** представляли собой лук очень больших размеров и использовались для разрушения укреплений и кораблей. Выпущенное машиной окованное бревно пробивало четыре ряда частокола по отлогой траектории. Натяжение тетивы производилось несколькими воинами и занимало от 15 мин до 1 ч.

**Баллисты** посылали снаряд, который летел на расстояние до 400 м. Начальная скорость полёта снаряда была около 45 м/с. В качестве снарядов применялись камни, горшки и бочки с горючей смесью. При запуске снаряд летел круто вверх и, попав в корабль, пробивал палубу и днище.

**ПОЛНАЯ МЕХАНИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ ТЕЛА** Часто тело обладает одновременно как кинетической, так и потенциальной энергией. Сумму кинетической и потенциальной энергий тела обычно называют **полной механической энергией тела**.

Так, например, летящий самолёт обладает как потенциальной, так и кинетической энергией:

$$E = E_{\text{п}} + E_{\text{к}}.$$

Тормозной путь автомобиля пропорционален массе автомобиля и квадрату скорости, с которой автомобиль двигался до начала торможения. Таким образом, чем тяжелее автомобиль, тем длиннее будет его тормозной путь, если предположить, что до начала торможения движение происходило с одинаковой скоростью.

С другой стороны, чем выше скорость движения автомобиля, тем длиннее будет его тормозной путь. Причём, если скорость автомобиля вырастет в 2 раза, тормозной путь в случае экстренного торможения увеличится в 4 раза.



#### ВОПРОСЫ:

- Как рассчитать потенциальную энергию поднятого над поверхностью Земли тела?
- Как рассчитать кинетическую энергию движущегося тела?
- Что такое полная механическая энергия тела?



## ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

### ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Что такое превращение энергии.
- Что такое закон сохранения энергии.

### ВСПОМНИТЕ:

- Что такое энергия?
- Какие тела обладают потенциальной энергией?
- Какие тела обладают кинетической энергией?
- Чему равна полная механическая энергия?

Тела, поднятые над поверхностью Земли, обладают потенциальной энергией, а движущиеся тела — кинетической. В повседневной жизни часто можно наблюдать, как потенциальная энергия превращается в кинетическую, а кинетическая — в потенциальную.

### ПРЕВРАЩЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ В КИНЕТИЧЕСКУЮ

Например, мячик массой  $m$ , поднятый на высоту  $h$  над поверхностью Земли, обладает потенциальной энергией. Его кинетическая энергия равна нулю.

Но стоит отпустить мячик, как он начнёт падать на Землю. Во время падения высота, на которой находится мячик, уменьшается. Следовательно, потенциальная энергия мячика также уменьшается. При этом скорость тела начинает увеличиваться, следовательно, его кинетическая энергия также увеличивается. В тот момент, когда тело коснётся поверхности Земли, его потенциальная энергия станет равной нулю, а кинетическая будет максимальной. В этом случае потенциальная энергия тела переходит в его кинетическую энергию:  $E_{\text{п}} \rightarrow E_{\text{к}}$ .

### ПРЕВРАЩЕНИЕ КИНЕТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ПОТЕНЦИАЛЬНУЮ

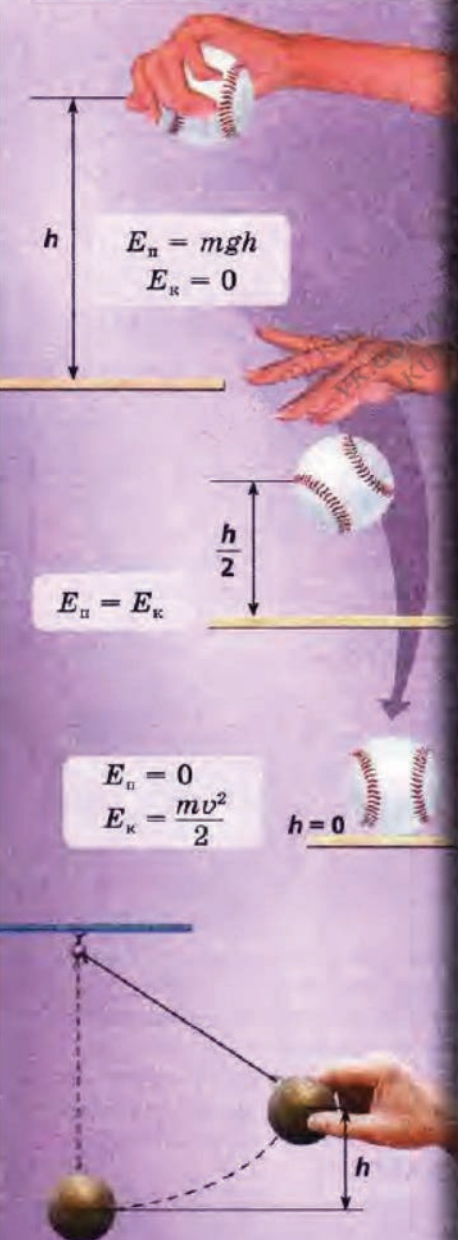
Также можно наблюдать превращение кинетической энергии в потенциальную. Если мячик бросит вертикально вверх, то расстояние от поверхности Земли до него будет увеличиваться, следовательно, будет увеличиваться его потенциальная энергия. Скорость мячика при этом будет уменьшаться, и его кинетическая энергия тоже будет уменьшаться. В этом случае кинетическая энергия тела переходит в его потенциальную энергию:  $E_{\text{к}} \rightarrow E_{\text{п}}$ .

### ПРЕВРАЩЕНИЕ ОДНОГО ВИДА ЭНЕРГИИ В ДРУГОЙ

Во всех описанных примерах при уменьшении потенциальной энергии тела его кинетическая энергия возрастала. И наоборот, при увеличении потенциальной энергии тела его кинетическая энергия уменьшалась.

Превращения одного вида механической энергии в другой можно наблюдать на примере движения маятника. Если шарик маятника оттянуть вправо, он приподнимется на высоту  $h$  над своим нижним положением. В этом положении потенциальная энергия шарика будет максимальной.

Если теперь шарик отпустить, то он начнёт двигаться влево вниз, постепенно увеличивая скорость. Следовательно, кинетическая энергия шарика увеличивается и в среднем положении она будет максимальной. Его потенциальная энергия в этом положении будет минимальной. За счёт запаса кинетической энергии шарик продолжает двигаться влево, поднимаясь всё выше. Это





приводит к возрастанию его потенциальной энергии. Одновременно скорость шарика уменьшается, что приводит к уменьшению кинетической энергии.

**ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ** Можно выдвинуть гипотезу о том, что при переходе механической энергии из одного вида в другой полная энергия сохраняется. Рассмотрим следующий идеализированный опыт (считая сопротивление воздуха несущественным).

Железный шар радиусом 10 см и массой 32,7 кг находится на вершине Пизанской башни, высота которой составляет приблизительно 56 м. Кинетическая энергия этого шара равна нулю, а его потенциальная энергия

$$E_{\text{п}} = mgh = 17\,946 \text{ Дж.}$$

При падении этого шара с башни на него действует сила тяжести, и его скорость каждую секунду увеличивается на 9,8 м/с. Шар достигает поверхности Земли за время, примерно равное 3,38 с.

Используя формулу  $a = (v - v_0)/t$  и учитывая, что  $v_0 = 0$  и  $a = g$ , получаем, что  $v = gt$ .

Значит, в момент, когда шар достигает поверхности Земли, его скорость  $v = 33,13$  м/с.

Здесь  $E_{\text{к}} = mv^2/2 = 17\,946$  Дж, а  $E_{\text{п}} = 0$ . Получается, что вся потенциальная энергия шара перешла в его кинетическую энергию.

Из многочисленных наблюдений за превращениями энергии учёные сделали вывод: энергия никогда не исчезает и не возникает из ничего, она только переходит из одного вида в другой и от одного тела к другому. Это утверждение называют **законом сохранения энергии**.



**В** научной системе Ломоносова важное место занимают формулировки законов сохранения. Впервые он формулирует его в письме к Леонарду Эйлеру от

5 июля 1748 г. Здесь он пишет: «Но все встречающиеся в природе изменения происходят так, что если к чему-либо нечто прибавилось, то это отнимается у чего-то другого. Так, сколько материи прибавляется к какому-либо телу, столько же теряется у другого, сколько часов я затрачиваю на сон, столько же отнимаю от бодрствования и т. д. Так как это всеобщий закон природы, то он распространяется и на правила движения: тело, которое своим толчком возбуждает другое к движению, столько же теряет от своего движения, сколько сообщает другому, им двинутому».



Кроме перехода энергии из одного вида в другой, энергия может переходить от одного тела к другому. Это очень хорошо демонстрируется при столкновении бильярдных шаров.



#### ВОПРОСЫ:

- Как формулируется закон сохранения энергии?
- Какие можно привести примеры перехода одного вида механической энергии в другой?
- Какие можно привести примеры перехода энергии от одного тела к другому?



**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

- 1 Какими источниками энергии издревле пользуется человечество.
- 2 Что такое возобновляемые и невозобновляемые источники энергии.

**ВСПОМНИТЕ:**

- 1 Что такое превращение энергии?
- 2 Что такое закон сохранения энергии?

По закону сохранения и превращения энергии она никогда не исчезает и не возникает из ничего, она только переходит из одного вида в другой и от одного тела к другому. Но если энергия не может возникнуть из ничего, то всякий вид энергии должен иметь какой-то источник. Люди издавна используют возобновляемые источники энергии — энергии текущей воды и ветра.

**ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ** Возобновляемыми ресурсами принято называть природные ресурсы, запасы которых на нашей планете не зависят от того, каким образом их использует человечество, или восстанавливаются быстрее, чем используются. Невозобновляемые ресурсы — это ресурсы, запасы которых могут быть исчерпаны уже в обозримом будущем при существующих темпах их использования.

Возобновляемые источники энергии — это ветер, солнечный свет, течение рек, морские волны и течения, тепло Земли. К невозобновляемым источникам энергии относят нефть, газ и уголь.

Солнце является главным источником тепла и света на нашей планете. Жизнь на Земле существует лишь благодаря тому, что мы получаем от Солнца именно то количество энергии, которое необходимо для поддержания жизни всех её обитателей. На планетах, находящихся ближе к Солнцу, слишком жарко, а на планетах, находящихся дальше, слишком холодно для существования известных нам форм жизни.

**ВОДА КАК ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ** Энергию, сосредоточенную в водных потоках, называют гидроэнергией. Чаще всего используют энергию падающей воды.

Вода объёмом  $1 \text{ м}^3$  на высоте 50 м обладает потенциальной энергией:

$$E_{\text{п}} = 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 1 \text{ м}^3 \cdot 50 \text{ м} \approx 500\,000 \text{ Дж.}$$

Поэтому при падении воды с этой высоты совершается работа  $A = 500 \text{ кДж}$ .


В природе сравнительно редко встречаются большие водопады, вот почему уровень воды в реке поднимают искусственно при помощи плотин. За счёт энергии поднятой воды гидравлические двигатели (машины, преобразующие энергию потока жидкости в механическую энергию) могут совершать механическую работу.

Многие ресурсы, которые традиционно относят к возобновляемым, на самом деле не восстанавливаются и когда-нибудь будут исчерпаны. В качестве примера можно привести солнечную энергию. С другой стороны, при дальнейшем развитии технологии некоторые ресурсы, которые традиционно считаются невозобновляемыми, могут быть восстановлены.






Одним из простейших и древнейших гидравлических устройств является *водяное колесо*. При подъёме воды на некоторый уровень в ней запасается соответствующая этому уровню потенциальная энергия, поэтому падающая вода может совершать работу. До середины XIX в. применялись водяные колёса, преобразующие энергию движущейся воды в механическую энергию вращающегося вала. В наше время из-за малой мощности водяного колеса используют *водяные турбины (гидротурбины)*. В таких турбинах вода передаёт энергию колесу, приводя в движение лопасти турбины. Рабочее колесо соединено с электрическим генератором, который вырабатывает электрический ток.

 Человечество пытается использовать механическую энергию воды, например **энергию волн** на поверхности Океана. В этом направлении сегодня ведутся интенсивные научные исследования. Несмотря на схожую природу, энергию волн принято отличать от **энергии приливов и океанских течений**. **Приливная электростанция (ПЭС)** — особый вид гидроэлектростанций, использующих энергию приливов. Приливные электростанции строят на берегах морей, где гравитационные силы Луны и Солнца дважды в сутки изменяют уровень воды. Колебания уровня воды у берега могут достигать 13 м. В России с 1968 г. действует экспериментальная ПЭС в Кислой губе на побережье Баренцева моря. Существуют ПЭС и за рубежом — во Франции, США и других странах.

**ВЕТЕР КАК ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ** Ветер, как и вода, является наиболее древним источником энергии. *Ветряные двигатели* используют энергию движущегося воздуха — ветра. Движущиеся массы воздуха оказывают давление на плоскости крыльев ветряных двигателей и приводят их в движение. Вращательное движение крыльев передаётся механизмам, выполняющим какую-либо работу.

Ветряные двигатели применяют для подъёма воды из колодцев, для получения электрической энергии и т. д.

При скорости ветра 5 м/с ветряной двигатель с диаметром колеса 12 м может развить мощность 3300 Вт. Если же скорость ветра равна 10 м/с, а диаметр колеса 30 м, то развиваемая двигателем мощность составит 110 000 Вт.

 Технический потенциал ветровой энергии России достаточно велик. Одна из самых больших ветроэлектростанций России расположена в районе посёлка Куликово Зеленоградского района Калининградской области. Правительством Канады установлена цель — к 2015 г. производить 10 % электроэнергии из энергии ветра. Германия планирует к 2020 г. производить 20 % электроэнергии из энергии ветра.

«Существует факт, если угодно, закон, управляющий всеми явлениями природы, всем, что было известно до сих пор. Исключений из этого закона не существует, насколько мы знаем, он абсолютно точен. Название его — сохранение энергии. Он утверждает, что существует определённая величина, называемая энергией, которая не меняется ни при каких превращениях, происходящих в природе».

Р. Фейнман

#### ВОПРОСЫ:

- Какие можно привести примеры использования воды в качестве источника энергии?
- Какие можно привести примеры использования ветра в качестве источника энергии?



## НЕВОЗМОЖНОСТЬ СОЗДАНИЯ ВЕЧНОГО ДВИГАТЕЛЯ

### ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Что такое вечный двигатель.
- Почему невозможно создание вечного двигателя.

### ВСПОМНИТЕ:

- Что такое превращение энергии?
- Что такое закон сохранения энергии?

С давних пор люди хотели создать неисчерпаемый, самовозобновляющийся источник энергии — **вечный двигатель** (от лат. *perpetuum mobile*).

**ВЕЧНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ** Механизм, безостановочно двигающий себя, и, кроме того, совершающий какую-либо полезную работу, например поднимающий груз, является вечным двигателем. Много времени и труда было потрачено на создание подобного двигателя. Первые проекты вечного двигателя относят к XIII в. Обладание им было даже более заманчивым, чем владение искусством делать золото из других, более дешёвых металлов, которым занимались древние алхимики. В эпоху перехода к машинному производству, в XVI—XVII вв., количество проектов неуклонно возрастало. Были придуманы сотни вечных двигателей, но ни один из них не действовал так, как планировалось изначально.



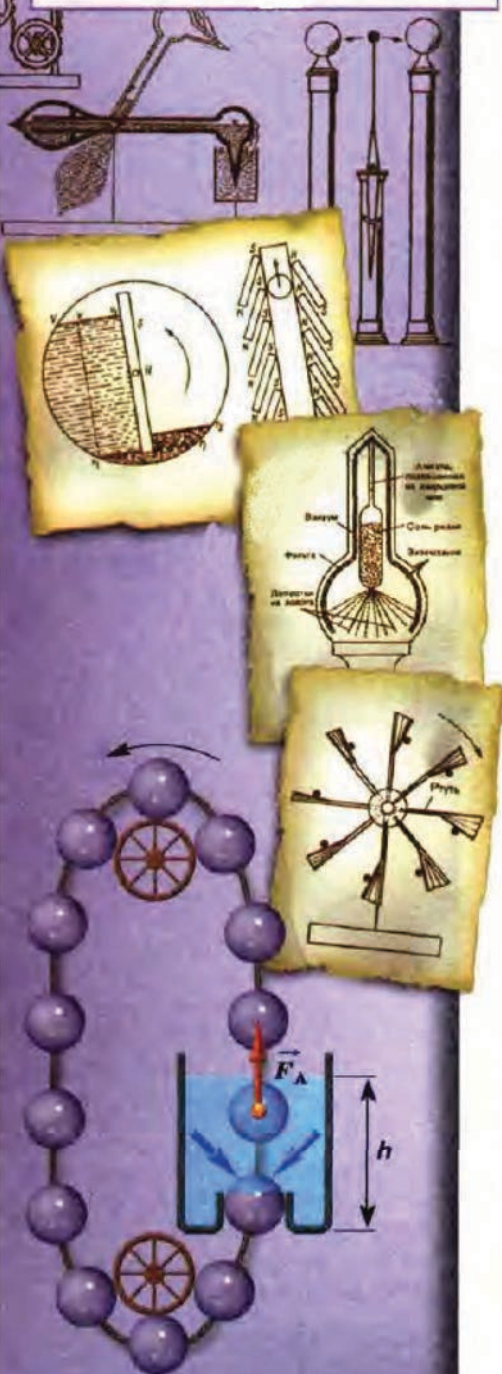
Неправильное понимание физических законов, действующих в каждой конкретной конструкции, а также общности закона сохранения энергии и приводило в конечном счёте к краху самой идеи вечного двигателя.

**МЕЧТА О ВЕЧНОМ ДВИГАТЕЛЕ** К концу XVIII в. укрепилось убеждение в невозможности создания вечного двигателя, и с 1775 г. Французская Академия Наук отказалась рассматривать подобные проекты. В середине XIX в., с установлением закона сохранения энергии, была доказана принципиальная неосуществимость этой идеи. Таким образом, вечный двигатель остаётся лишь красивой мечтой, манящей, но абсолютно недостижимой.

Эта мечта используется фокусниками и разного рода ловкачами при показах «самодвижущихся» агрегатов. В действительности в каждом из них спрятаны часовой механизм с пружиной или незаметно подключённый электродвигатель, позволяющий им двигаться довольно долго, однако же не вечно. Можно ввести в заблуждение зрителей, но нарушить законы природы не получится.

От *perpetuum mobile* следует отличать мнимые вечные двигатели — механизмы, работающие за счёт природных запасов энергии (солнечной, ядерной и т. д.).

**ЗАКОН АРХИМЕДА И ВЕЧНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ** Один из проектов вечных двигателей основан на применении закона Архимеда. В этой конструкции используется замкнутая





в кольцо верёвка или цепочка из тел легче воды, часть которой находится в жидкости, а часть — вне её. Автор полагал, что вода будет выталкивать тела на поверхность, а цепь с колёсами — бесконечно вращаться.

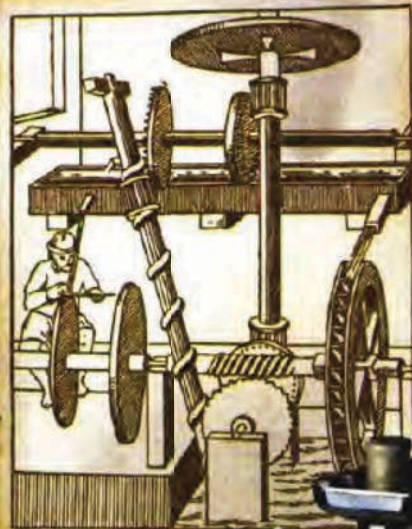
Главный фактор, который не учтён в этой конструкции, состоит в следующем. Чтобы цепочка шариков вращалась, шары должны входить в сосуд с жидкостью снизу и покидать его сверху. Но, поступая в сосуд с жидкостью, шар должен преодолевать давление столба жидкости высотой  $h$ , которая существенно превышает его радиус. При этом давление столба жидкости на поверхность шара сверху будет много больше, чем выталкивающая сила, действующая на шарик, полностью погружённый в жидкость.

**АРХИМЕДОВ ВИНТ И ВЕЧНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ** Ещё один проект вечного двигателя использует такое устройство, как архимедов винт (сейчас он применяется, в частности, в мясорубках). Архимедов винт вращается водяным колесом и поднимает воду, которая попадает в небольшой резервуар, падает и заставляет колесо крутиться, вращать винт и поднимать следующую порцию воды.

Для пуска этого вечного двигателя надо сначала совершить работу — наполнить резервуар. При падении воды на лопатки колеса она в лучшем случае (при полном отсутствии трения и других потерь) могла бы совершить такую же работу. Но в действительности часть энергии постоянно расходуется на трение. Поэтому винт подаёт всё меньше и меньше воды, и наконец наступает тот момент, когда резервуар пуст и вечный двигатель останавливается.

**НЕУРАВНОВЕШЕННЫЕ ГРУЗЫ И ВЕЧНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ** Идея использования неравновешенных грузов для конструкции вечного двигателя оказалась настолько заманчивой, что развенчать её удалось только к началу XVII в. нидерландскому математику и механику Симону Стевину. В самом простом случае замкнутую цепочку шаров располагают так, чтобы они оказались неравновешенными и способными скользить друг за другом. Предполагалось, что при скольжении одни шары будут тянуть за собой другие и движение будет бесконечным.

Основная ошибка в рассуждениях заключается в следующем. Если шары находятся в неравновешенном состоянии, то они должны двигаться с ускорением и разогнаться до бесконечности, что на практике совершенно невозможно. Следовательно, малое количество шаров может уравновесить большее количество шаров, всё дело здесь в направлении действующих сил и умении правильно их определять.



**Симон Стевин**  
(1548—1620)

Нидерландский математик и физик. Изучал движение по наклонной плоскости, гидростатику, ввёл в употребление десятичные дроби.

#### ВОПРОСЫ:

● Почему невозможно создание вечного двигателя?



## ПОДВЕДЕМ ИТОГИ

- Механическая работа совершается только тогда, когда на тело действует сила и тело перемещается под действием этой силы.
- Мощность показывает, какая работа совершается за единицу времени.
- Энергия — это физическая величина, характеризующая способность тела совершать работу. Различают потенциальную и кинетическую энергию.
- Закон сохранения энергии гласит, что энергия никогда не исчезает и не возникает из ничего, она только переходит из одного вида в другой и от одного тела к другому.
- Источники энергии делятся на возобновляемые и невозобновляемые.



$$N = \frac{A}{t}$$

МОЩНОСТЬ

$$A = F s$$



МЕХАНИЧЕСКАЯ РАБОТА

МЕХАНИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ

$$E = E_{\text{п}} + E_{\text{к}}$$

$$E_{\text{к}} = \frac{mv^2}{2}$$

Кинетическая энергия



$$E_{\text{п}} = mgh$$

Потенциальная энергия

Технический музей Словакии  
<http://www.stm-ke.sk>

Политехнический музей  
<http://eng.polymus.ru>

### «ПОДРОБНЕЕ...»

Липсон Г. Великие эксперименты в физике. — М.: «Мир», 1978.

Энциклопедия для детей. Т. 16. Физика. Ч. 1. Биография физики. Путешествие в глубь материи. Механическая картина мира. — М.: Аванта+, 2000.

Энциклопедия для детей. Т. 14. Техника. — М.: Аванта+, 2001.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ:

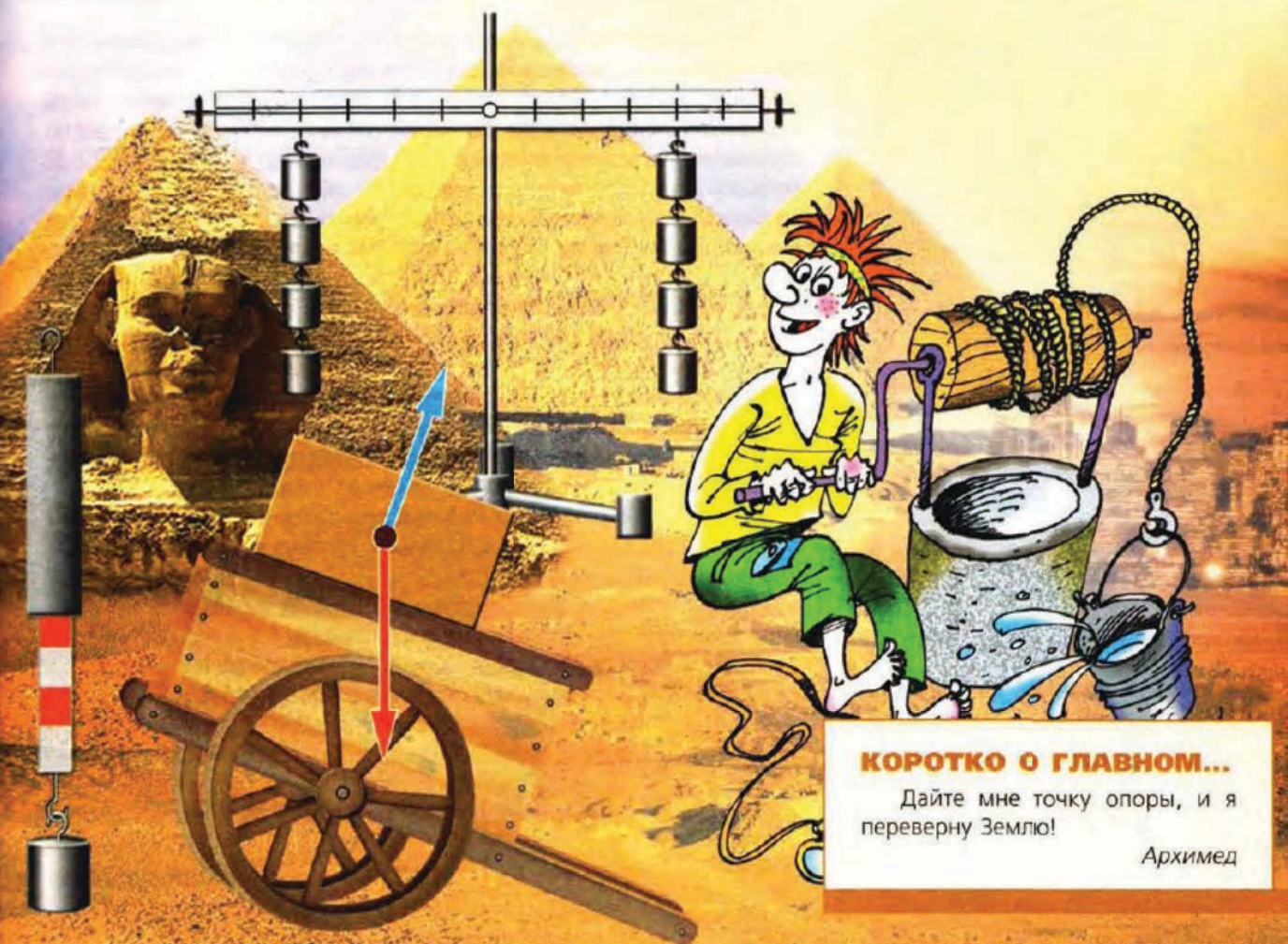
- Может ли механическую работу совершить сила трения покоя?
- Оцените мощность, развиваемую спортсменом при прыжке в высоту. Необходимые физические величины и их значения задайте сами.
- За счёт какой механической энергии совершается работа по подъёму обычного воздушного шарика?
- При подъёме на высокую гору альпинисты взяли с собой баллон с газом. Можно ли утверждать, что энергия топлива при этом увеличилась?





# ПРОСТЫЕ МЕХАНИЗМЫ. «ЗОЛОТОЕ ПРАВИЛО» МЕХАНИКИ

- РЫЧАГ И НАКЛОННАЯ ПЛОСКОСТЬ
- БЛОК И СИСТЕМА БЛОКОВ
- «ЗОЛОТОЕ ПРАВИЛО» МЕХАНИКИ
- КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ



## КОРОТКО О ГЛАВНОМ...

Дайте мне точку опоры, и я переверну Землю!

Архимед



## РЫЧАГ И НАКЛОННАЯ ПЛОСКОСТЬ

### ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Что такое простые механизмы.
- Что такое рычаг.
- Что называют плечом силы.
- Что такое момент силы.
- В чём состоит правило равновесия рычага.

### ВСПОМНИТЕ:

- Что такое сила?

С древних времён для облегчения своего труда человек использует различные механизмы (от греч. *techane* — машина, орудие). Эти приспособления использовались людьми в строительстве, прокладке дорог, военном деле.

**ПРОСТЫЕ МЕХАНИЗМЫ** Приспособления, необходимые для того, чтобы получить выигрыш в силе, называют простыми механизмами. К ним относятся рычаг и наклонная плоскость. Также к простым механизмам относят такие разновидности рычага, как блок и ворот, и разновидности наклонной плоскости клин и винт.

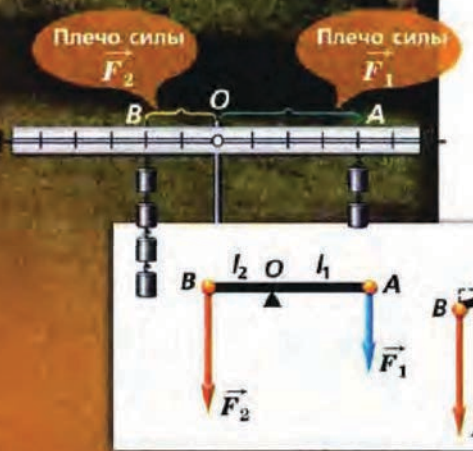
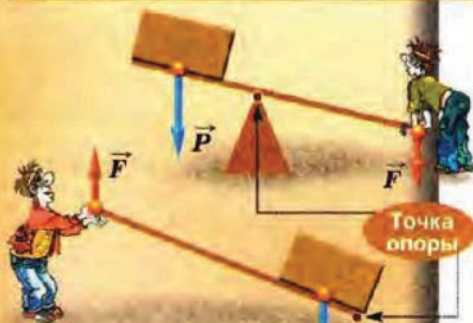
**РЫЧАГ** Даже очень тяжёлый предмет можно поднять при помощи достаточно длинной и прочной палки — рычага. Рычаг представляет собой твёрдое тело, которое может вращаться вокруг неподвижной опоры, называемой осью вращения. Рычаги используют не только для поднятия тяжестей. Принцип действия рычага лежит в основе работы ножниц, щипцов для раскалывания орехов, пинцета и т. д.

Различают несколько видов рычагов в зависимости от взаимного расположения точки опоры и точки приложения силы. Например, для того чтобы приподнять тяжёлый предмет при помощи рычага одного вида, надо приложить силу, направленную вниз, а при помощи рычага другого вида — вверх. В обоих случаях сила, с которой человек действует на рычаг, меньше веса тела, именно поэтому и говорят о *выигрыше в силе*.

**ПЛЕЧО СИЛЫ** Рассмотрим простой пример действия силы. Легко открыть дверь, приложив небольшую силу к дверной ручке. Но потребуется значительная сила, если мы захотим открыть дверь, приложив эту силу вблизи от оси вращения двери. Значит, результат действия силы на тело, имеющего неподвижную ось вращения, зависит не только от модуля силы и её направления, но и от того, на каком расстоянии от оси вращения эта сила приложена. Это расстояние называют плечом силы.

Для рычага плечом силы является кратчайшее расстояние между точкой опоры и прямой, вдоль которой действует на рычаг сила. Чтобы найти плечо силы, надо из точки опоры опустить перпендикуляр на линию действия силы. Например, для рычага, изображённого на рисунке, плечо силы  $\vec{F}_1$  — это отрезок  $OA$  длиной  $l_1$ , а плечо силы  $\vec{F}_2$  — отрезок  $OB$  длиной  $l_2$ .

Силы, действующие на рычаг, могут повернуть его вокруг оси в двух направлениях: по ходу или против хода часовой стрелки.





**РАВНОВЕСИЕ РЫЧАГА** Если движение, вызываемое простым механизмом, происходит медленно и если силы трения малы, то можно считать, что роль этих приспособлений сводится к тому, чтобы уравновесить большие силы, препятствующие движению, меньшими силами. Это можно установить на опыте. Нам понадобится рычаг с отверстиями, проделанными на равных расстояниях друг от друга, и набор одинаковых гирек. Подвесим слева на определённом расстоянии  $l_1$  от точки опоры рычага шесть гирек. Если вес каждой из гирек равен 1 Н, то слева на рычаг действует сила  $F_1$ , равная 6 Н. Можно привести рычаг в равновесие различными способами. В частности, силу, равную 6 Н, мы можем уравновесить силой  $F_2$ , равной 3 Н. При этом плечо  $l_2$  этой силы окажется в 2 раза больше.

Проведённый опыт позволяет установить правило равновесия рычага — рычаг находится в равновесии тогда, когда равны произведения

$$F_1 l_1 = F_2 l_2.$$

**МОМЕНТ СИЛЫ И ПРАВИЛО МОМЕНТОВ** Произведение модуля силы, действующей на тело, на её плечо называют **моментом силы**:

$$M = Fl.$$

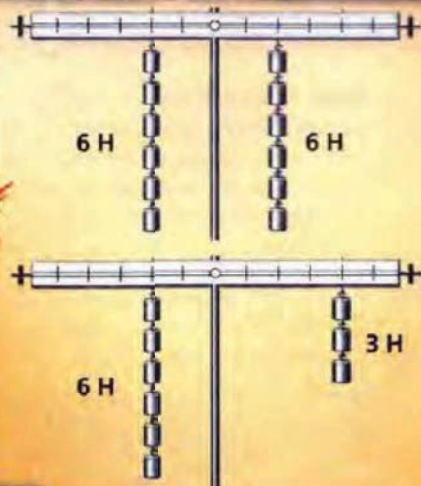
За единицу момента силы принимают момент силы в 1 Н, плечо которой равно 1 м. Эту единицу называют **ньютон-метром**: 1 Н·м.

**НАКЛОННАЯ ПЛОСКОСТЬ** Наклонная плоскость — это плоская поверхность, установленная под углом, отличным от прямого, к горизонтальной поверхности. Наклонная плоскость позволяет перемещать тяжёлые грузы на некоторую высоту без их поднятия. Это связано с тем, что при подъёме тела по наклонной плоскости требуется меньшая сила, чем сила, необходимая для подъёма этого тела строго по вертикали.

**Выигрыш в силе, обеспечиваемый наклонной плоскостью, равен отношению длины наклонной плоскости, к высоте, на которую поднимается груз.**

**Симон Стевин** установил закон равновесия сил на наклонной плоскости, рассуждая следующим образом.

Цепочка из одинаковых шаров находится в равновесии на наклонной плоскости (три шара уравнивают пять шаров), хотя вес частей цепи различен. Причём вес левой части цепи во столько раз меньше веса правой части, во сколько раз наклонная сторона треугольника длиннее вертикальной стороны, т. е. чтобы удержать тело на наклонной плоскости, надо действовать в направлении этой плоскости с силой, которая во столько раз меньше веса тела, во сколько раз длина наклонной плоскости больше её высоты.



Рычаг находится в равновесии, если силы, действующие на него, обратно пропорциональны плечам этих сил:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1},$$

или момент силы, вращающий его по часовой стрелке, равен моменту силы, вращающей его против часовой стрелки. Это правило называют **правилом моментов**:

$$M_1 = M_2.$$

Выигрыш в силе  $\frac{l}{h}$



#### ВОПРОСЫ:

- Что называют простыми механизмами и для какой цели они применяются?
- Что представляет собой рычаг и в чём заключается правило равновесия рычага?
- Почему дверные ручки устанавливают вдали от петель, на которые вешают дверь?



## БЛОК И СИСТЕМА БЛОКОВ

### ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Что такое блок.
- Какой блок называют неподвижным, а какой — подвижным.
- Что представляют собой системы блоков.

### ВСПОМНИТЕ:

- Что такое простые механизмы?
- Что такое выигрыш в силе?

Если перекинуть верёвку через прочную ветку дерева, за один конец привязать груз, а за другой конец верёвки потянуть, то можно поднять груз на нужную высоту и закрепить его там. Такая система лежит в основе ещё одного простого механизма — блока.

**НЕПОДВИЖНЫЙ БЛОК** Блок представляет собой колесо с жёлобом, через который пропущена верёвка, трос или цепь.

Блоки бывают двух видов — неподвижные и подвижные. **Неподвижным** называют такой блок, ось которого закреплена и при подъёме грузов не поднимается и не опускается. Неподвижный блок можно рассматривать как равноплечий рычаг, у которого плечи сил равны радиусу колеса:  $OA = OB$ .

Согласно правилу моментов

$$F_1 l_1 = F_2 l_1,$$

где  $F_1$  — сила, с которой действует на точку подвеса груз,  $F_2$  — сила, которую прикладывают для того, чтобы груз поднять, а  $l_1$  — радиус блока. Получается, что  $F_1 = F_2$ .

Такой блок не даёт выигрыша в силе, но позволяет менять направление действия силы.

**ПОДВИЖНЫЙ БЛОК** Подвижный блок — это блок, ось которого поднимается и опускается вместе с грузом. Для того чтобы поднять груз, необходимо приложить силу  $F_1$ , которая стремится повернуть блок вокруг его оси вращения, проходящей через точку  $O$ , расположенную не в центре. Плечо силы  $F_1$  — отрезок  $OB$  — является диаметром блока. Момент этой силы таким образом равен

$$M_1 = F_1 l_1.$$

Груз, прикрепленный к центру блока, своим весом создаёт момент

$$M_2 = F_2 l_2,$$

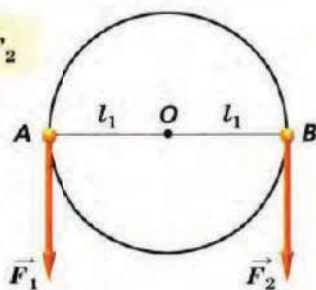
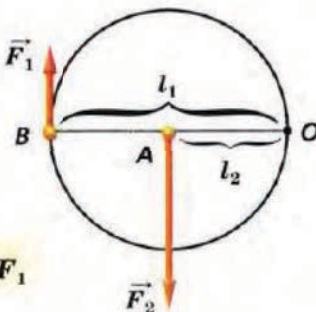
где сила  $F_2$  равна весу груза, а плечо силы  $l_2 = l_1/2$ , так как  $l_2$  — это радиус блока  $OA$ .

Согласно правилу моментов

$$M_1 = M_2, \text{ т. е. } F_1 l_1 = F_2 l_1/2.$$

Получается, что  $F_2/F_1 = 2$ . Это значит, что **подвижный блок даёт выигрыш в силе в 2 раза.**

$$F_1 = F_2$$


 $\vec{F}_1$ 
 $\vec{F}_2$ 


$$F_2 = 2F_1$$

 $\vec{F}_2$ 
 $\vec{F}_{\text{тяж}}$ 




### КОМБИНАЦИЯ НЕПОДВИЖНОГО БЛОКА С ПОДВИЖНЫМ

На практике удобно применять комбинацию неподвижного блока с подвижным. Неподвижный блок применяют только для удобства. Он не даёт выигрыша в силе, но изменяет направление действия силы, например, позволяет поднимать груз, стоя на земле.

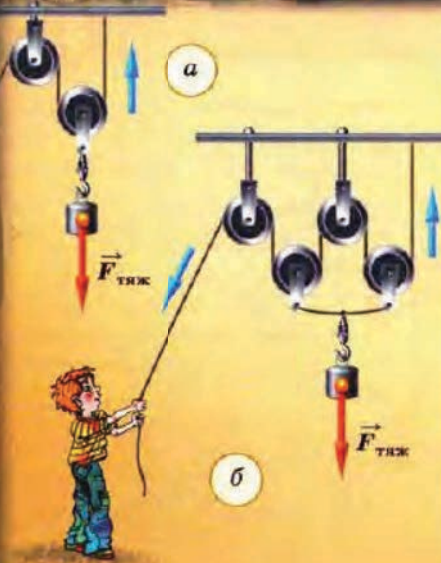
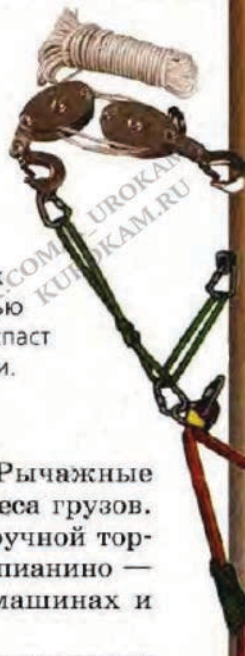
Если же выигрыша в силе в 2 раза *a* недостаточно, можно сконструировать систему из подвижных и неподвижных блоков таким образом, чтобы она давала выигрыш в силе, например, в 4 раза *б* и более.



На практике широко используют устройство, называемое **полиспастом** (от др.-греч. *polyspastos* — натягиваемый многими верёвками или канатами).

Это устройство, состоящее из собранных в подвижную и неподвижную обоймы блоков, последовательно огибаемых канатом, и предназначенное для выигрыша в силе.

Полиспаст часто применяют для подъёма небольших грузов (шлюпок на судне). Также он является частью механизма подъёмного крана. В альпинизме полиспаст используют для организации переправ через пропасти.



### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОСТЫХ МЕХАНИЗМОВ

Рычажные весы — простейший рычаг, где силы — это веса грузов. Рычаги имеются у многих машин. Педали и ручной тормоз велосипеда, педали автомобиля, клавиши пианино — всё это примеры рычагов, используемых в машинах и инструментах.

Для подъёма воды из колодцев чаще используют устройство, называемое воротом. Ворот состоит из барабана в форме цилиндра и прикреплённой к нему рукоятки. Выигрыш в силе, даваемый воротом, тем больше, чем больше отношение радиуса окружности, описываемой рукояткой ворота к радиусу барабана, на который намотана верёвка.

Издrevле при строительстве хозяйственных построек сооружалась бревенчатая наклонная плоскость, которая потом использовалась для поднятия тяжёлых грузов.



### ВОПРОСЫ:

- Какой блок называют неподвижным?
- Какой блок называют подвижным?
- Какой выигрыш в силе даёт подвижный блок?



## «ЗОЛОТОЕ ПРАВИЛО» МЕХАНИКИ

### ВЫ УЗНАЕТЕ:

● Что такое «золотое правило» механики.

### ВСПОМНИТЕ:

- Какие виды простых механизмов вы знаете?
- Что такое выигрыш в силе?
- Что такое механическая работа?
- Как определить механическую работу?

Простые механизмы применяют при совершении работы в тех случаях, когда надо действием одной силы уравновесить другую силу. Используя их, мы получаем выигрыш в силе или пути, но можно ли получить при этом выигрыш в работе?

**РЫЧАГ И РАБОТА** Опыты показывают, что, поднимая тяжёлый груз с помощью рычага, за одно и то же время точка приложения меньшей силы  $F_2$  проходит больший путь  $s_2$ , чем точка приложения большей силы  $F_1$  (путь  $s_1$ ).

Многочисленные опыты и тщательные измерения показывают, что всегда пути, пройденные точками приложения сил на рычаге, обратно пропорциональны силам:

$$\frac{s_1}{s_2} = \frac{F_2}{F_1} \quad (1)$$

Предположим, что силы, приложенные к рычагу, равны соответственно

$$F_1 = 100 \text{ Н}, F_2 = 20 \text{ Н}.$$

Пусть при этом путь, пройденный точкой приложения силы  $F_1$ , равен  $s_1 = 20$  см. Тогда, учитывая формулу (1), путь, пройденный точкой приложения силы  $F_2$ , будет равен  $s_2 = 1$  м.

Определим работу, совершённую каждой силой:

$$A_1 = F_1 s_1 = 100 \text{ Н} \cdot 0,2 \text{ м} = 20 \text{ Дж},$$

$$A_2 = F_2 s_2 = 20 \text{ Н} \cdot 1 \text{ м} = 20 \text{ Дж}.$$

Таким образом, работы, совершаемые силами, приложенными к рычагу, равны друг другу, т. е. **рычаг не даёт выигрыша в работе:**

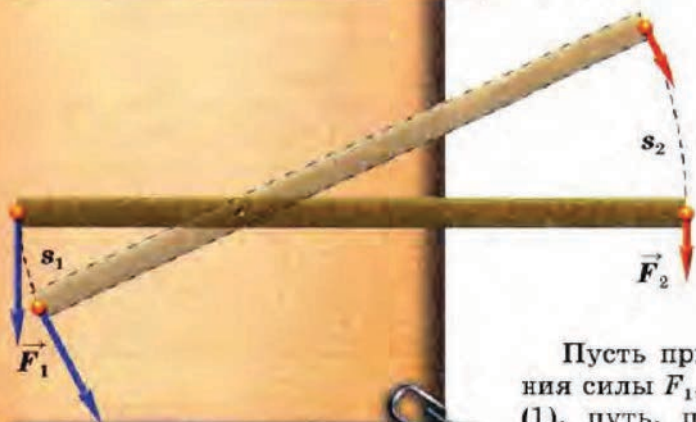
$$F_1 s_1 = F_2 s_2.$$

Пользуясь рычагом, мы можем выиграть или в силе, или в пути. Если мы силу приложим к длинному плечу, то выиграем в силе, но во столько же раз проиграем в пути. Действуя же силой на короткое плечо рычага, мы выиграем в пути, но во столько же раз проиграем в силе.

**НАКЛОННАЯ ПЛОСКОСТЬ И РАБОТА** Наклонная плоскость также не даёт выигрыша в работе. Как мы уже знаем, в случае наклонной плоскости получают выигрыш в силе. Однако при этом груз, перемещаемый по наклонной плоскости, проходит большее расстояние.

Расчёты показывают, что если умножить модуль силы, затрачиваемой на подъём груза, на пройденное расстояние, то эти произведения будут равны для случаев, когда груз поднимают по наклонной плоскости и по вертикали.

Существует легенда, что Архимед, который установил условие равновесия рычага, воскликнул: «Дайте мне точку опоры, и я переверну Землю!». Однако расчёты показывают, что для подъёма Земли всего на 1 см длинное плечо рычага должно проделать огромный путь, на который потребовались бы миллионы лет.

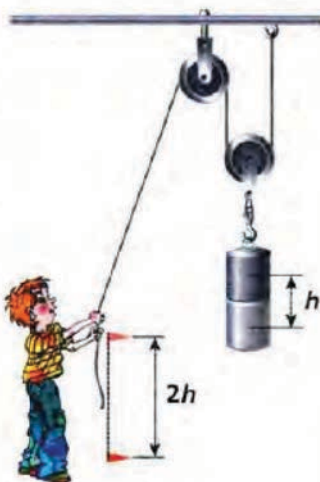




**ПОДВИЖНЫЙ БЛОК И РАБОТА** Сравним работы, совершаемые с помощью подвижного блока. Как показывает опыт, чтобы поднять груз на высоту  $h$ , нужно конец верёвки, за который мы тянем, переместить на высоту  $2h$ . Итак, получая выигрыш в силе в 2 раза, проигрывают в 2 раза в пути, следовательно, и подвижный блок не даёт выигрыша в работе.

А что же в случае системы блоков? Оказывается, что, чем больше блоков мы используем, тем большую длину верёвки необходимо вытянуть, чтобы поднять груз на нужную высоту.

Например, чтобы поднять груз на один метр вверх с помощью системы из четырёх блоков, придётся вытянуть 4 м верёвки.



**«ЗОЛОТОЕ ПРАВИЛО» МЕХАНИКИ** Итак, ни один из механизмов не даёт выигрыша в работе. Применяют же различные механизмы для того, чтобы выиграть в силе или пути.



Уже древним учёным было известно правило, применяемое ко всем механизмам, — «золотое правило» механики: «Во сколько раз выигрываем в силе, во столько раз проигрываем в расстоянии». Это правило можно считать одной из формулировок закона сохранения энергии.

Поскольку невозможно получить выигрыша в работе, значит, невозможно получить и «выигрыша в энергии» при помощи любых простых механизмов.

Так как выигрыш в силе, даваемый наклонной плоскостью, равен  $l/h$ , значит, сила, при помощи которой груз весом  $P$  поднимается вдоль наклонной плоскости, будет равна  $h/l \cdot P$ . Следовательно, работа по перемещению груза вдоль наклонной плоскости длиной  $l$  равна

$$A_1 = h/l \cdot P \cdot l = Ph.$$

Если груз поднимать вертикально на ту же высоту  $h$ , работа будет равна  $A_2 = Ph$ . Получаем

$$A_1 = A_2.$$

«Золотое правило» механики является приближённым законом, так как оно не учитывает большое количество факторов, свойственных окружающему нас миру: наличие силы трения, наличие силы сопротивления воздуха, наличие веса у отдельных частей механизмов и т. д.



### Герон Александрийский

(годы рождения и смерти неизвестны, вероятно, I в. н. э.) Древнегреческий учёный, работавший в Александрии. Автор работ, в которых систематизированы основные достижения античного мира в области прикладной механики.

Многие историки науки считают, что это правило было известно ещё Аристотелю. Без сомнения, это правило было знакомо людям, имеющим дело с простыми механизмами, очень давно. В трудах древнегреческого учёного Герона Александрийского, жившего в I в. н. э., встречается «золотое правило» механики в виде утверждения: «Что выигрывается в силе, то теряется в скорости».

### ВОПРОСЫ:

- Какое соотношение существует между путями, пройденными точками приложения сил на рычаге и этими силами?
- Во сколько раз проигрывают в пути, используя для поднятия грузов подвижный блок?
- Можно ли проверить выполнение «золотого правила» механики в невесомости? Обоснуйте ответ.



## КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ

### ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Что такое полная и полезная работа.
- Что такое коэффициент полезного действия механизма.
- Как определить КПД простого механизма.

### ВСПОМНИТЕ:

- Какие виды простых механизмов вы знаете?
- Как определить механическую работу?

На предыдущих уроках мы познакомились с простыми механизмами. Изучая их принцип действия, мы не учитывали вес рычагов, блоков и других частей механизмов, а также существующую силу трения и т. п. Условия работы механизмов, при которых не учитывают все эти факторы, называют **идеальными**. В этих условиях вся работа, совершённая приложенной силой (эту работу называют **полной** или **совершённой**), равна **полезной** работе по подъёму грузов или преодолению какого-либо сопротивления.

**ПОЛНАЯ И ПОЛЕЗНАЯ РАБОТА** На практике **совершённая с помощью механизма полная работа всегда несколько больше полезной работы.**

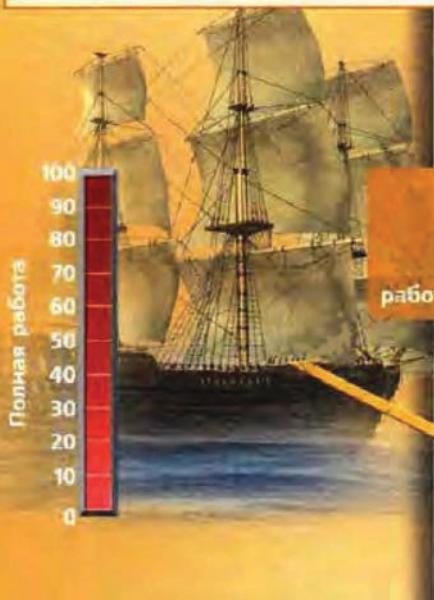
При использовании наклонной плоскости часть от полной работы тратится на работу против сил трения.

При работе рычага часть полной работы затрачивается на совершение работы против сил трения, а также на совершение работы по перемещению самого рычага, на который действует сила тяжести.

При подъёме грузов с помощью блоков часть полной работы также затрачивается на работу против сил трения. Другая часть полной работы тратится на перемещение перекинутой через блок верёвки. Если же мы используем подвижный блок, то ещё совершаем дополнительную работу по его подъёму, так как на него действует сила тяжести.

Какой бы механизм мы не взяли, полезная работа  $A_{п}$ , совершённая с его помощью, всегда составляет лишь часть полной (затраченной) работы  $A_{з}$ :

$$A_{п} < A_{з}, \text{ или } \frac{A_{п}}{A_{з}} < 1.$$



ПОЛНАЯ РАБОТА



Полезная работа



Работа по преодолению сил сопротивления среды



Работа по перемещению частей механизма



**КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ** Характеристику механизма, определяющую какую долю полезная работа составляет от полной, называют **коэффициентом полезного действия** механизма — КПД.



Для определения КПД нужно полезную работу разделить на полную. КПД обозначают греческой буквой  $\eta$  (читается «эта»).

КПД можно выражать либо в процентах, либо числом, которое меньше единицы.

$$\eta = \frac{A_{\text{п}}}{A_{\text{з}}} \cdot 100 \%$$

КПД любого механизма всегда меньше 100 %. Конструируя механизмы, люди стремятся увеличить их КПД. Для этого, например, уменьшают массу движущихся частей и трение между деталями. Созданы машины и механизмы, у которых КПД достигает 98–99 %. Но построить машину с КПД, равным 100 %, невозможно.

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ

Пусть на коротком плече рычага закреплён груз массой 100 кг. Для его подъёма к длинному плечу приложили силу, равную 250 Н. Груз подняли на высоту  $h_1 = 0,08$  м, при этом точка приложения движущей силы опустилась на высоту  $h_2 = 0,4$  м. Найдите КПД рычага.

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:  
 $m = 100$  кг  
 $F = 250$  Н  
 $h_1 = 0,08$  м  
 $h_2 = 0,4$  м

$\eta = ?$

Решение:  
 КПД находят по формуле

$$\eta = \frac{A_{\text{п}}}{A_{\text{з}}} \cdot 100 \%$$

Полная (затраченная) работа

$$A_{\text{з}} = Fh_2$$

Полезная работа

$$A_{\text{п}} = Ph_1$$

где  $P$  — вес груза.

$$P = mg = 100 \text{ кг} \cdot 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} = 980 \text{ Н}$$

Получаем

$$A_{\text{п}} = 980 \text{ Н} \cdot 0,08 \text{ м} = 78,4 \text{ Дж}$$

$$A_{\text{з}} = 250 \text{ Н} \cdot 0,4 \text{ м} = 100 \text{ Дж}$$

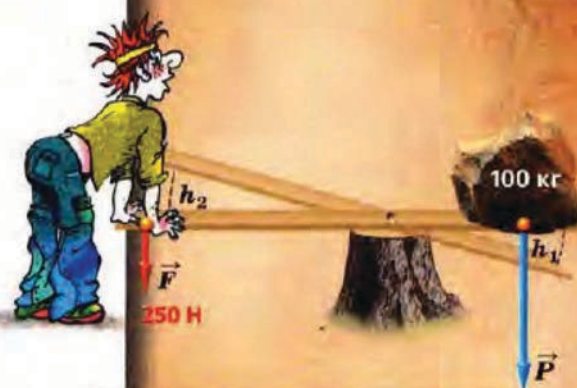
Тогда

$$\eta = \frac{78,4 \text{ Дж}}{100 \text{ Дж}} \cdot 100 \% = 78,4 \%$$

Ответ: КПД рычага  $\eta = 78,4 \%$ .

В настоящее время наиболее распространённым способом получения электроэнергии является способ её производства на тепловых электростанциях. В котлах сжигается топливо и образуется пар, который вращает паровую турбину, соединённую с электрогенератором, вырабатывающим электрический ток. При этом КПД лучших котлов составляет 50–55 %, КПД паровых турбин — 30–40 %, КПД современных генераторов достигает 95 %, а КПД передающих электрических линий — 60–70 %. При получении электричества таким способом общий КПД будет 11–16 %.

Для двигателя легкового автомобиля КПД составляет 25–30 %. Это значит, что 25–30 % сгоревшего топлива используется на передвижение автомобиля с грузом. Полезный груз — пассажиры — составляет максимум 30 % от веса гружёного автомобиля. Тогда полезное использование топлива в автомобилях получается равным от 4,5 до 7,5 %.



#### ВОПРОСЫ:

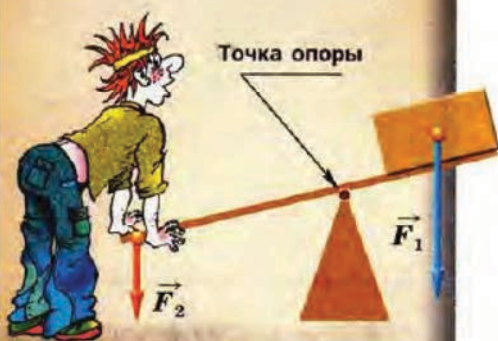
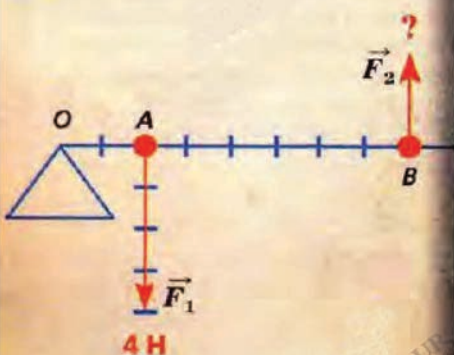
- Какую работу называют полезной, а какую — полной?
- Как изменится КПД механизма, если уменьшить трение в его узлах?
- Почему невозможно построить машину с КПД, равным 100 %?



## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

## ВЫ УЗНАЕТЕ:

- 1 Как решать задачи на расчёт равновесия рычагов.
- 2 Как решать задачи на использование блоков.
- 3 Как решать задачи на расчёт КПД.



**ЗАДАЧА 1** Используя рисунок, определите, какую силу необходимо приложить к рычагу в точке  $B$ , чтобы он остался в равновесии.

Решение:

По правилу моментов  $F_1 l_1 = F_2 l_2$ , где  $l_1$  и  $l_2$  — плечи соответствующих сил. На рисунке сила  $F_1$  равна 4 единицам, а её плечо составляет 2 единицы. Расстояние от точки  $O$  до точки  $B$  равно 8 единицам, а это и есть плечо силы  $F_2$ .

Так как  $F_1 \cdot l_1 = 2 \cdot 4 = 8$ , то  $F_2 \cdot l_2 = 8$ . Поэтому сила  $F_2$ , уравнивающая силу  $F_1$ , должна быть равна 1 единице и направлена в противоположную сторону.

**ЗАДАЧА 2** Рабочий приподнимает при помощи рычага плиту массой 100 кг. Короткое плечо рычага равно 0,8 м, а длинное — 1,2 м. Какова сила, которую должен приложить рабочий к большему плечу рычага?

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:  
 $m = 100$  кг  
 $g = 9,8$  Н/кг  
 $l_1 = 0,8$  м  
 $l_2 = 1,2$  м

Решение:

По правилу равновесия рычага  
 $F_1 / F_2 = l_2 / l_1$ .

В данном случае плита действует на рычаг с силой, равной её весу:

$$F_1 = P = mg.$$

Тогда

$$\frac{P}{F_2} = \frac{l_2}{l_1} \quad \text{и} \quad F_2 = P \frac{l_1}{l_2} = mg \frac{l_1}{l_2}.$$

Подставим числовые значения и найдём ответ:

$$F_2 = 100 \text{ кг} \cdot 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot \frac{0,8 \text{ м}}{1,2 \text{ м}} \approx 653,3 \text{ Н}.$$

Ответ:  $F_2 = 653,3$  Н.

**ЗАДАЧА 3** Какую силу надо приложить, чтобы при помощи изображённой системы блоков поднять груз массой 70 кг? На сколько поднимется груз, если вытянуть верёвку на 40 см?

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:  
 $m = 70$  кг  
 $g = 10$  Н/кг  
 $l_1 = 40$  см

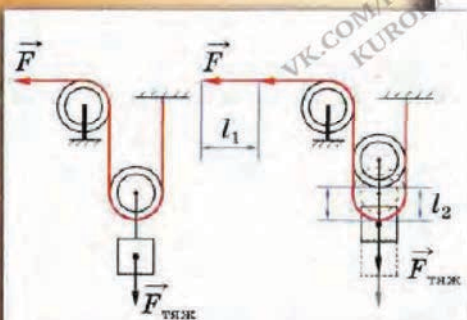
Решение:

Сила тяжести, действующая на груз, равна  $F_{\text{тяж}} = mg$ .

$$F_{\text{тяж}} = 70 \text{ кг} \cdot 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} = 700 \text{ Н}.$$

Подвижный блок даёт выигрыш в силе в 2 раза, следовательно, для поднятия этого груза надо приложить силу

$$F = \frac{F_{\text{тяж}}}{2} = \frac{700}{2} \text{ Н} = 350 \text{ Н}.$$





Если при этом верёвка вытянется на 40 см, то груз поднимется на 20 см.

Ответ:  $F = 350 \text{ Н}$ ,  $l_2 = 20 \text{ см}$ .

**ЗАДАЧА 4** Для подъёма груза по наклонной плоскости приложили силу, направленную вдоль наклонной плоскости и равную 300 Н. Найдите массу груза, если известно, что длина наклонной плоскости равна 1,5 м, а её высота равна 1 м.

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:  
 $F = 300 \text{ Н}$   
 $l = 1,5 \text{ м}$   
 $h = 1 \text{ м}$   


---

 $m = ?$

Решение:  
 Сила тяжести, действующая на груз, равна  $F_{\text{тяж}} = mg$ .  
 Следовательно, для поднятия груза без использования каких-либо механизмов надо приложить силу, равную силе тяжести.

Наклонная плоскость даёт выигрыш в силе, и, если не учитывать силу трения, действующую на тело, этот выигрыш равен  $l/h$ :

$$\frac{l}{h} = \frac{1,5}{1} = 1,5.$$

Следовательно, сила, приложенная для поднятия груза по наклонной плоскости, в 1,5 раза меньше силы тяжести, действующей на груз. Тогда

$$F_{\text{тяж}} = 1,5 \cdot 300 = 450 \text{ Н};$$

$$m = \frac{F_{\text{тяж}}}{g} = \frac{450 \text{ Н}}{10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}} = 45 \text{ кг}.$$

Ответ:  $m = 45 \text{ кг}$ .

**ЗАДАЧА 5** Ведро с песком массой 40 кг подняли на высоту 8 м при помощи неподвижного блока. При этом на верёвку воздействовали с силой 450 Н. Определите КПД этого механизма.

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:  
 $m = 40 \text{ кг}$   
 $h = 8 \text{ м}$   
 $F = 450 \text{ Н}$   


---

 $\eta = ?$

Решение:  
 $\eta = \frac{A_{\text{п}}}{A_{\text{з}}} \cdot 100\%$ ;  
 $A_{\text{п}} = Ph$ , где  $P$  — вес груза.  
 $P = mg = 40 \text{ кг} \cdot 10 \text{ Н/кг} = 400 \text{ Н}$ .

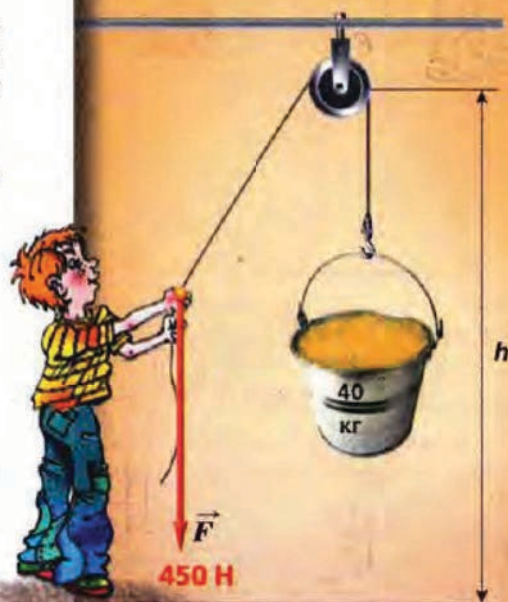
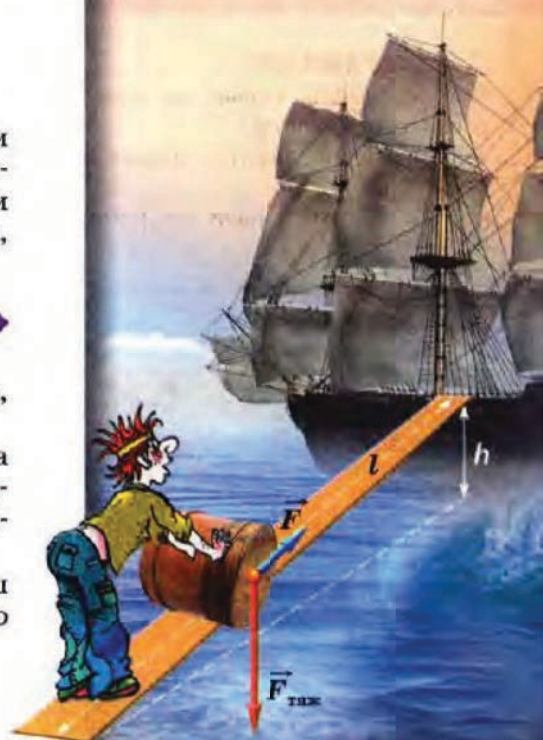
$$A_0 = Fh.$$

$$A_{\text{п}} = 400 \text{ Н} \cdot 8 \text{ м} = 3200 \text{ Дж}; \quad A_0 = 450 \text{ Н} \cdot 8 \text{ м} = 3600 \text{ Дж}.$$

Тогда

$$\eta = \frac{3200 \text{ Дж}}{3600 \text{ Дж}} \cdot 100\% \approx 88,9\%.$$

Ответ:  $\eta = 88,9\%$ .





## ПОДВЕДЁМ ИТОГИ

- Простые механизмы применяют для того, чтобы получить выигрыш в силе, т. е. увеличить силу, действующую на тело.
- К простым механизмам относят наклонную плоскость, рычаг, неподвижный и подвижный блоки.
- Ни один из механизмов не даёт выигрыша в работе. «Золотое правило» механики гласит, что во сколько раз выигрываем в силе, во столько раз проигрываем в пути.
- Характеристику механизма, определяющую, какую долю полезная работа составляет от полной, называют коэффициентом полезного действия механизма — КПД.



### «ПОДРОБНЕЕ...»

- Перельман Я. И. Занимательная механика. — М.: Римис, 2010.
- Энциклопедия для детей. Т. 16. Физика. Ч. 1. Биография физики. Путешествие в глубь материи. Механическая картина мира. — М.: Аванта+, 2000.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ:

- Забитый в доску гвоздь практически невозможно вытащить без приспособлений. Однако с помощью клещей это сделать совсем несложно. Почему?
- На невесомом рычаге, имеющем разные плечи, уравновешены два стальных шарика, объёмы которых отличаются в 2 раза. Сохранится ли равновесие, если шарики опустить в воду?
- Применяя наклонную плоскость, тяжёлый ящик волоком втаскивают на некоторую высоту. Затем делают то же, но используя наклонную плоскость, изготовленную из роликов. В каком случае КПД устройства выше? Аргументируйте свой ответ.

Международный научно-образовательный интернет-журнал для школьников  
<http://oscteam.com>

Политехнический музей  
<http://eng.polymus.ru>



## ИМЕНА В ИСТОРИИ ФИЗИКИ

**Демокрит.** Согласно учению Демокрита, всё происходящее представляет собой движение атомов, которые различаются по форме и размерам, месту и расположению, находятся в пространстве в вечном движении, и благодаря их соединению и разъединению вещи и миры возникают и приходят к гибели. В основе мира, согласно Демокриту, лежат два начала — атомы и пустота. Окружающие нас вещи, считал Демокрит, мы воспринимаем с помощью чувств, тогда как атомы постигаются разумом.



V в. до н. э.

**Аристотель.** Великий древнегреческий мыслитель, обобщивший и систематизировавший все знания, накопленные человечеством к тому времени. Установил законы логики, которая до сих пор является основным инструментом науки. Изучал широчайший круг вопросов: элементы и их превращения, движение, структура космоса, биология и психология, этика, политика и искусство. Утверждал, что обладающим знанием следует считать лишь того, кто может применять его. Являлся учеником Платона и учителем великого полководца Александра Македонского. Основал первый Лицей. Аристотель учил всегда следовать принципу: «Пусть мне дороги друзья и истина, однако долг повелевает отдать предпочтение истине!». Эта его фраза более известна как: «Платон мне друг, но истина дороже!».



384—322 гг. до н. э.

**Архимед.** Великий древнегреческий математик, физик и инженер. В наше время имя Архимеда связывают главным образом с его замечательными математическими работами, однако в Древней Греции он прославился также как изобретатель различного рода механических устройств и инструментов, о чём сообщают авторы, жившие в более позднюю эпоху. Архимед заложил фундамент современной гидростатики, в его честь был назван открытый им закон Архимеда.



287—212 гг. до н. э.

**Леонардо да Винчи.** Великий итальянский художник и учёный, яркий представитель типа «универсального человека» (от лат. — *homo universale*) — идеала эпохи Возрождения. Круг научных интересов Леонардо воистину впечатляет. До наших дней дошли отрывки трудов этого учёного по оптике, статике, теории воздухоплавания, трению и падению тел. Леонардо писал: «Если запастись терпением и проявить старание, то посеянные семена знания непременно дадут добрые всходы. Ученья корень горек, да плод сладок».



1452—1519





1561—1626



1564—1642



1602—1686



1608—1647

**Френсис Бэкон.** Английский философ, историк, политический деятель, основоположник эмпиризма.

Бэкон считал великое достоинство науки очевидным и выразил это в своём знаменитом афоризме «Знание — сила». Он вооружил естествознание методами обобщения, применяющимися по сей день. С помощью своих методов он, например, установил, что «формой» теплоты является движение мельчайших частиц тела.

**Галилео Галилей.** Великий итальянский физик и астроном, впервые применивший экспериментальный метод исследования в науке. Заложил основы современной механики. Впервые в истории человечества направил зрительную трубу на небо и установил, что Млечный путь состоит из множества звёзд, открыл спутники Юпитера, солнечные пятна, вращение Солнца. Роль Галилея в истории науки замечательно выразил великий физик XX в. А. Эйнштейн: «Открытие, сделанное Галилеем, и применение им методов научного рассуждения было одним из самых важных достижений в истории человеческой мысли, и оно отмечает действительное начало физики. Это открытие учит нас тому, что интуитивным выводам, базирующимся на непосредственном наблюдении, не всегда можно доверять, так как они иногда ведут по ложному следу».

**Отто фон Герике.** Немецкий физик, инженер и философ. Изобрёл вакуумную откачку и провёл известный эксперимент с Магдебургскими полушариями, который доказал наличие давления воздуха. Герике создал одну из первых электростатических машин, построил первый водяной барометр и использовал его для метеорологических наблюдений, изобрёл гигрометр (прибор для измерения влажности воздуха), сконструировал воздушный термометр, манометр.

**Евангелиста Торричелли.** Итальянский математик и физик. В своём сочинении «*Opera geometrica*» Торричелли излагает свои открытия и изобретения, среди которых самое важное место занимает изобретение ртутного барометра. Торричелли показал, что воздух имеет вес и что водяной насос не может вытянуть воду на высоту более 10 м, сформулировал закон вытекания жидкости из отверстий в стенке открытого сосуда и вывел формулу для определения скорости вытекания (формула Торричелли).



**Блез Паскаль.** Французский математик, физик, литератор и философ.

В историю физики Паскаль вошёл, установив основной закон гидростатики. Он подтвердил предположение Торричелли о существовании атмосферного давления.

В честь Паскаля называется единица давления Международной системы единиц (СИ). Также Паскаль был первоклассным математиком. Он участвовал в становлении проективной геометрии и теории вероятностей.

Паскаль изобрёл гидравлический пресс и построил первую механическую счётную машину.



1623—1662

**Роберт Бойль.** Английский химик, физик и философ, один из основателей Лондонского королевского общества.

При его жизни Королевское общество было признанным научным центром, вокруг которого объединились крупнейшие учёные того времени — Дж. Локк, И. Ньютон, Д. Уоллес и др. Открыл весьма важный физический закон сжатия газов, который носит его имя (закон Бойля—Мариотта).

Бойль производил оптические исследования и заключил из них, что цвета не являются непосредственным свойством вещества.



1627—1691

**Роберт Гук.** Английский естествоиспытатель, учёный-энциклопедист.

К числу открытий Гука принадлежат: открытие пропорциональности между упругими растяжениями, сжатиями и изгибами и производящими их напряжениями (закон Гука). Он впервые увидел живую клетку с помощью усовершенствованного им микроскопа. Гуку принадлежит и сам термин «клетка».



1635—1703

**Исаак Ньютон.** Великий английский физик, математик, астроном, философ.

Вклад Ньютона в достижения нашей цивилизации отражён в эпитафии, высеченной на его могиле: «Здесь покоится Сэр Исаак Ньютон, который почти божественной силой своего ума объяснил с помощью своего математического метода движения и формы планет, пути комет, приливы и отливы океана. Он первый исследовал разнообразие световых лучей и истекающие отсюда особенности цветов, каких до того времени никто даже не подозревал. Прилежный, проницательный и верный истолкователь природы, древностей и священного писания он прославил в своём учении Всемогущего Творца. Требуемую Евангелием простоту он доказал своей жизнью. Пусть смертные радуются, что в их среде жило такое украшение человеческого рода...»



1642—1727





1711—1765

**Михайло (Михаил) Васильевич Ломоносов.** Замечательный русский учёный-естествоиспытатель, выдающийся просветитель, поэт, художник, историк, академик Петербургской академии наук.

Открытия Ломоносова обогатили многие отрасли знания. Он развивал атомно-молекулярные представления о строении вещества. Проводил исследования в области атмосферного электричества и метеорологии. Ломоносов впервые экспериментально доказал закон постоянства массы веществ, участвующих в химических превращениях. Создал ряд оптических приборов, открыл атмосферу на Венере. Объяснил происхождение многих полезных ископаемых и минералов.

Ломоносову принадлежит высказывание: «Один опыт я ставлю выше, чем тысячу мнений, рождённых только воображением». По инициативе Ломоносова в 1755 г. основан Московский университет.



1743—1794

**Антуан-Лоран Лавуазье.** Французский учёный, основатель современной химии.

Экспериментально сформулировал современную кислородную теорию горения, совместно с Бертолле и другими французскими учёными разработал проект классификации химических соединений, первым синтезировал воду из кислорода и водорода.

Лавуазье правильно предсказал состав органических веществ, заложив первый камень в фундамент органической химии.



1766—1844

**Джон Дальтон.** Английский физик и химик, сыгравший большую роль в развитии атомистических представлений в химии. Джон Дальтон сформулировал два важных газовых закона, носящих в настоящее время его имя, открыл и продемонстрировал научной общественности явление полимерии в химии, ввёл понятие «атомный вес», первым определил атомные веса ряда элементов.



1773—1858

**Роберт Броун.** Выдающийся британский (шотландский) ботаник.

По иронии судьбы Броун более известен не как ботаник, а как человек, обнаруживший хаотичное движение микрочастиц, взвешенных в жидкости, получившее впоследствии название броуновского.

Над объяснением броуновского движения работали Альберт Эйнштейн и Марианн Смолуховский. Случайное открытие Роберта Броуна в итоге привело к окончательному опытному подтверждению атомной теории вещества.



**Джеймс Прескотт Джоуль.** Известный английский физик. Основные научные труды Джоуля посвящены электромагнетизму, механической теории тепла и теории газов, молекулярной физике и акустике.

Джоуль открыл названный его именем закон, определяющий зависимость между силой тока и выделенным этим током в проводнике теплом (закон Джоуля—Ленца), нашёл численное отношение между работой и количеством произведённого ею тепла.

В его честь названа единица работы — джоуль.



1818—1889

**Дмитрий Иванович Менделеев.** Выдающийся русский химик. Наиболее известное его открытие — периодический закон химических элементов, в соответствии с которым он составил периодическую систему элементов.

На основе своей периодической таблицы исправил значения атомных масс 9 элементов (бериллия, индия, урана и др.). Предсказал существование, вычислил атомные массы и описал свойства 11 ещё не открытых тогда элементов.

Менделеев — автор фундаментальных исследований по химии, химической технологии, физике, метрологии, воздухоплаванию, метеорологии, сельскому хозяйству, экономике.



1834—1907

**Джон Уильям Стретт, лорд Рэлей.** Британский физик.

Основными научными интересами Рэрея были теория колебаний и её приложения в самых разных областях физики — акустике, оптике, электричестве и др.

Вывел один из законов излучения абсолютно чёрного тела (закон Рэрея—Джинса). Эта работа имела большое значение для возникновения теории квантов.

В 1904 г. (с Уильямом Рамзаем) открыл газ аргон и получил за это Нобелевскую премию по физике.

Рэлей вывел важное физическое соотношение и с его помощью объяснил голубой цвет неба и красный цвет заката, с помощью виртуозного эксперимента с плёнкой масла на воде с достаточной точностью определил размер молекул.



1842—1919

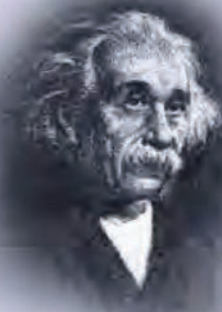
**Марианн Смолуховский.** Польский физик-теоретик. Впервые дал строгое объяснение броуновскому движению частиц.

Работы Марианна Смолуховского внесли большой вклад в становление атомно-молекулярной теории вещества.



1872—1917





1879—1955

**Альберт Эйнштейн.** Великий физик, один из основателей современной физики. Создатель теории относительности, в которой ему удалось объединить пространство и время, понять природу гравитации и взаимосвязь массы и энергии. Трудно переоценить его вклад в создание квантовой теории. Получил Нобелевскую премию за теорию фотоэффекта. Фактически его открытия позволили человечеству овладеть ядерной энергией. Считал, что «наука не является и никогда не будет являться законченной книгой». Эйнштейн был очень мудрым человеком и обладал тонким чувством юмора. Так, например, он сказал: «Чтобы покарать меня за отвращение к авторитетам, судьба сделала авторитетом меня самого».



1918—1988

**Ричард Филлипс Фейнман.** Выдающийся физик XX века. Он писал: «Решающие и наиболее поразительные периоды развития физики — это периоды великих обобщений, когда явления, казавшиеся разобщёнными, неожиданно становятся всего лишь разными аспектами одного и того же процесса. История физики — это история таких обобщений...». Квантовая электродинамика и её новый научный язык — диаграммы Фейнмана можно назвать одним из примеров таких обобщений. За эти работы Фейнман стал лауреатом Нобелевской премии. Его знаменитую лекцию, известную под названием «Там, внизу, ещё много места», можно считать началом эры нанотехнологий. В области физического образования труд под названием «Фейнмановские лекции по физике» до сих пор является одним из наиболее ярких и интересных учебников для студентов.



1934—1996

**Карл Эдуард Саган.** Американский астроном, публицист и известный популяризатор науки. Работы Сагана посвящены физике планет, проблемам происхождения жизни и возможности её существования вне Земли. Является создателем «парниковой модели» атмосферы Венеры, объясняющей наличие высокой температуры на поверхности планеты. Известны его исследования поверхности Марса, он обнаружил органические молекулы в атмосфере Юпитера. Саган является автором интересной хронологии «космического года». В своей замечательной книге «Космос», изданной в 2008 г. в России, он рассказывает об эволюции Вселенной, формировании галактик и зарождении жизни и разума.



род. 1942

**Стивен Уильям Хокинг.** Один из наиболее видных и авторитетных физиков-теоретиков нашего времени. Несмотря на тяжёлое заболевание, ведёт активную научную и преподавательскую деятельность. Основная область исследований — космология и квантовая гравитация: испарение чёрных дыр и применение термодинамики к их описанию. В 1974 г. Хокинг стал членом Лондонского королевского общества. Широкую известность приобрёл как автор многочисленных книг о Вселенной. Своё знакомство с его книгами можно начать с книг «Джордж и тайны Вселенной» и «Джордж и сокровища Вселенной».



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вот и пройдена последняя глава учебника. За этот год вы получили представление о том, что изучает наука физика, научились проводить свои первые физические исследования, делать из них выводы и заключения, познакомились с основами учения о строении вещества и стали понимать, почему свойства физических тел различаются в зависимости от их агрегатного состояния.

В этом году вы начали изучать механику — один из основных разделов физики, который описывает сущность механических явлений. Вам стало понятно, как работают простые механизмы, окружающие нас в повседневной жизни. При помощи инструментов, которые работают по принципу простых механизмов, производятся многие виды работ. Может быть, у вас получится предложить свои способы усовершенствования таких простых механизмов?

Впереди вас ждут летние каникулы. Попробуйте применить свои знания по физике на практике: рассчитать и сделать плот, способный удержать вас на воде, определить КПД инструментов, с которыми вам приходится работать.

За время изучения физики ваш взгляд на окружающий мир изменился. Вы можете посмотреть на него глазами исследователя. Используйте свои новые знания для понимания и объяснения явлений, которые вы наблюдаете вокруг себя.

До встречи в новом учебном году!

