



ИНЖЕНЕРЫ  
БУДУЩЕГО



# ФИЗИКА



# 7

Часть 2

УГЛУБЛЁННЫЙ  
УРОВЕНЬ



# ФИЗИКА

ИНЖЕНЕРЫ БУДУЩЕГО

**7** КЛАСС

Углублённый уровень

Учебник

В двух частях

Часть 2

Под редакцией Ю. А. Панебратцева

Допущено Министерством просвещения  
Российской Федерации

МОСКВА  
«ПРОСВЕЩЕНИЕ»  
2024

УДК 373.167.1:53+53(075.3)

ББК 22.3я721.6

Ф50

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

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

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

ISBN 978-5-09-112666-2.

Ч. 2. — 160 с. : ил.

ISBN 978-5-09-112668-6.

Общая концепция учебно-методического комплекса, который включает печатные издания и электронные ресурсы, в том числе сайт поддержки УМК, разработана научными сотрудниками Объединённого института ядерных исследований (ОИЯИ), преподавателями Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» и специалистами Госкорпорации «Росатом» в соответствии с требованиями ФГОС ООО от 31.05.2021 г. и Федеральной рабочей программой по физике углублённого уровня от 18.05.2023 г.

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

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

*Учебное издание*

Белага Виктория Владимировна  
Воронцова Наталья Игоревна  
Ломаченков Иван Алексеевич  
Панебратцев Юрий Анатольевич

**ФИЗИКА**

Инженеры будущего

7 класс

Углублённый уровень

Учебник

В двух частях

Часть 2

Центр развития углублённого и профильного образования, функциональной грамотности  
Ответственный за выпуск *Н. В. Мелешко*. Художественный редактор *Т. В. Глушкова*  
Художник *В. С. Давыдов*. Технический редактор *М. И. Решетникова*  
Компьютерная вёрстка *О. В. Поповой, О. С. Ивановой, С. Н. Терентьевой*  
Фотографии фотобанков *Schutterstock/FOTODOM, Лори*. Корректоры *Е. Е. Никулина, Г. И. Москина*

Подписано в печать 30.03.2024. Формат 84 × 108/16. Гарнитура SchoolBookSanPin.  
Усл. печ. л. 16,8. Тираж экз. Заказ №

Акционерное общество «Издательство «Просвещение». Российская Федерация,  
127473, г. Москва, ул. Краснопролетарская, д. 16, стр. 3, помещение 1Н.

Адрес электронной почты «Горячей линии» — [vopros@prosv.ru](mailto:vopros@prosv.ru).



ISBN 978-5-09-112668-6 (ч. 2)

ISBN 978-5-09-112666-2

© АО «Издательство «Просвещение», 2024

© Художественное оформление.

АО «Издательство «Просвещение», 2024

Все права защищены

## ВВЕДЕНИЕ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



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



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



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

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

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

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

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

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

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

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

Желаем вам успехов на пути получения новых знаний!



математика



геометрия



география



биология/экология



технология



физкультура



химия

# Глава 5

## ДАВЛЕНИЕ ТВЁРДЫХ ТЕЛ, ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

Сила, необходимая 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.

*Б. Паскаль*



## § 43 ДАВЛЕНИЕ

### НОВОЕ В УРОКЕ

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

### ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

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

Результат действия силы на тело в некоторых ситуациях зависит не только от её модуля, направления и точки приложения, но и от площади поверхности, на которую сила действует.

**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.

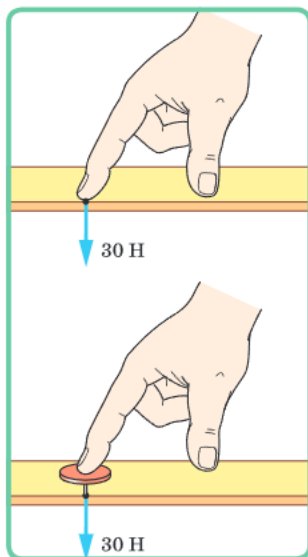
Приведённые примеры свидетельствуют о том, что результат действия силы может зависеть и от того, какая сила действует на каждую единицу площади поверхности тела. При этом во всех рассмотренных примерах речь шла о силе, приложенной к опоре и направленной перпендикулярно её поверхности.

**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.

Физическая величина, характеризующая действие силы, приложенной перпендикулярно поверхности, на которую она действует, называется давлением.

Сила, действующая на тело перпендикулярно поверхности, называется силой давления.



Давление равно отношению модуля силы, действующей перпендикулярно поверхности, к площади этой поверхности:

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

**ВАЖНО**

Если обозначить величины: давление —  $p$ , силу, действующую на поверхность, —  $F$  и площадь поверхности —  $S$ , то **давление** рассчитывается 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.

Единица давления — ньютон на квадратный метр (Н/м<sup>2</sup>) — называется *паскалем* (Па) в честь французского учёного Блеза Паскаля:

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

На практике используют также кратные единицы давления:

*гектопаскаль* (гПа):

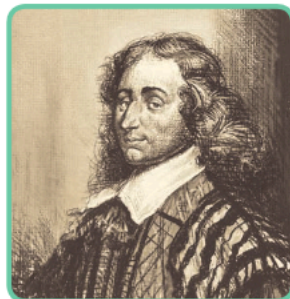
$$1 \text{ гПа} = 100 \text{ Па} = 10^2 \text{ Па}, \\ 1 \text{ Па} = 0,01 \text{ гПа} = 10^{-2} \text{ гПа};$$

*килопаскаль* (кПа):

$$1 \text{ кПа} = 1000 \text{ Па} = 10^3 \text{ Па}, \\ 1 \text{ Па} = 0,001 \text{ кПа} = 10^{-3} \text{ кПа};$$

*мегапаскаль* (МПа):

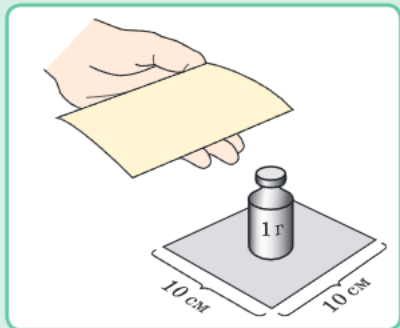
$$1 \text{ МПа} = 1000\,000 \text{ Па} = 10^6 \text{ Па}, \\ 1 \text{ Па} = 10^{-6} \text{ МПа}.$$



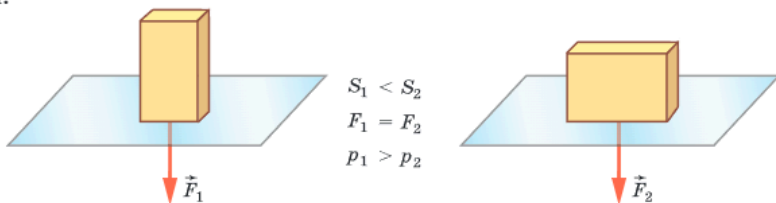
Блез Паскаль  
(1623—1662)

**ЭТО ИНТЕРЕСНО**

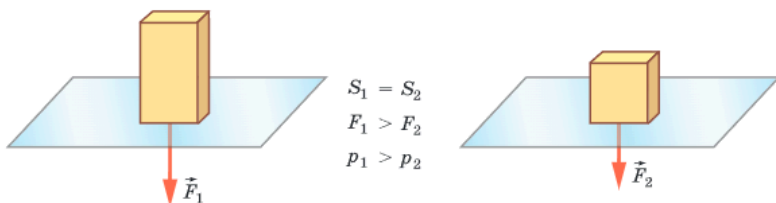
Оценим давление, равное 1 Па. Такое давление оказывает сила 1 Н (1 Н — это примерно вес гирьки массой 100 г) на поверхность площадью 1 м<sup>2</sup>. Можно также сказать, что давление 1 Па создаёт груз массой 1 г на поверхность площадью 100 см<sup>2</sup>. Такое давление оказывает листок бумаги на ладонь, т. е. 1 Па — это очень маленькая величина.



**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.



## ВЫВОДЫ

- ! Результат действия силы зависит не только от её значения, направления и точки приложения, но и от площади той поверхности, перпендикулярно которой она действует.
- ! Физическая величина, характеризующая действие силы, приложенной перпендикулярно поверхности, на которую она действует, называется давлением.

КЛЮЧЕВЫЕ  
СЛОВА

Давление; сила давления

И ВОПРОСЫ  
ЗАДАНИЯ

1. Приведите примеры, показывающие, что результат действия силы зависит от площади опоры, на которую действует эта сила.
2. Почему человек, идущий на лыжах, не проваливается в снег?
3. Как изменится давление человека на пол кабины лифта, если лифт начнёт с ускорением двигаться вверх?
4. В каком случае человек будет оказывать большее давление на надувной матрас: если он встанет на него или если ляжет?
5. Объясните, какие особенности конструкции снегохода делают его более приспособленным для движения по снежной целине, чем, например, легковой автомобиль.

# СПОСОБЫ УВЕЛИЧЕНИЯ И УМЕНЬШЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ В ПРИРОДЕ И ТЕХНИКЕ § 44

## НОВОЕ В УРОКЕ

Мы уже знаем, что чем больше площадь поверхности, тем меньше давление, производимое одной и той же силой, действующей перпендикулярно на эту поверхность. И наоборот, давление возрастает с уменьшением площади поверхности, на которую действует сила. С примерами увеличения или уменьшения давления мы постоянно сталкиваемся в природе, технике и в нашей повседневной жизни.

- Каким образом увеличивается или уменьшается давление в природе и технике.

## ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое давление?
- Как зависит давление от силы и площади поверхности?
- Как называется единица давления?

**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.

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 (площадь не больше 0,0025 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 часть кнопки (площадь около 1 см<sup>2</sup>), равно  $30 \text{ Н/см}^2 = 300\,000 \text{ Па}$ . В то же время давление заострённого конца кнопки (площадь около 0,01 мм<sup>2</sup>) на стол оказывается в 10 000 раз больше.



## ЭТО ИНТЕРЕСНО

По-видимому, одними из первых инструментов, применяемых человеком для увеличения давления, были швейные иглы и наконечники стрел. Древние иглы использовались в качестве шила, например чтобы сделать отверстия в шкурах животных. Они изготавливались из заострённых камней и дерева. Позднее иглы стали делать из костей, рогов и слоновой кости. Первые иглы с ушком были найдены археологами в Африке, их возраст примерно 60 тыс. лет. В качестве нитей использовались растительные волокна или сухожилия животных. Металлические иглы появились примерно в 3—4-м тыс. до н. э. Однако считалось, что иглы из кости более пригодны для шитья, так как они не ржавеют и не пачкают

ткань, как металл. В X в. в Китае усовершенствовали технологию изготовления стали, и с тех пор широкое распространение получили стальные иглы. Массовое производство стальных игл началось только с XVI в. В наше время иглы используют не только для шитья и украшения одежды вышивкой, но и в медицине.

**ПРИМЕРЫ УВЕЛИЧЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ В ПРИРОДЕ.** В растительном и животном мире можно наблюдать множество примеров увеличения давления. Некоторые растения (акация, кактусы, розы и др.) имеют шипы и колючки, чтобы отпугивать травоядных животных. Хищные животные и птицы используют острые зубы, клювы и когти для охоты. Например, белая акула имеет достаточно острые зубы, чтобы перекусить прочные металлические цепи. По расчётам учёных, челюсти акулы развивают давление до 300 000 000 Па. Насекомые — комары, осы, пчёлы имеют очень тонкие жала, чтобы проколоть кожу. Жало осы оказывает на поверхность кожи давление, сопоставимое с давлением груза массой в десятки тонн на один квадратный сантиметр! Чтобы получить такие же сверхвысокие значения давления для научно-исследовательских и промышленных целей (например, для получения искусственных алмазов), учёным приходится создавать очень сложные и громоздкие установки.

**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 колёсами, а тракторы — на гусеничном ходу. Машины, которые должны работать в сыпучих песках, имеют широкие шины. 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.

Чтобы грунт мог выдержать давление возводимого здания, увеличивают площадь нижней части фундамента.

Всем известно, что сидеть в мягком кресле удобнее, чем на деревянном стуле. Это связано с тем, что площадь соприкосновения между стулом и телом человека меньше, чем в случае с креслом, поэтому, сидя в кресле, человек оказывает меньшее давление на поверхность.



**ПРИМЕРЫ УМЕНЬШЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ В ПРИРОДЕ.** В природе также встречаются примеры уменьшения давления. По сухому песку нам трудно ходить без специальных приспособлений, потому что ноги при движении постоянно погружаются в песок. Однако верблюд, масса которого

400—600 кг, может легко ходить по песчаной пустыне. Ноги верблюда имеют широкие ступни, поэтому давление, оказываемое его телом на песок, меньше. Большая площадь ступней помогает многим животным передвигаться по рыхлому снегу или топким болотам.

Стволы деревьев имеют более толстое основание и сужаются к вершине. Такое строение уменьшает давление дерева на землю и предотвращает разрушение дерева под собственным весом.

**ВЫСОКИЕ ДАВЛЕНИЯ В СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ.** Во многих областях науки и техники применяется *высокое давление*, превышающее 100 МПа, а иногда и 100 ГПа. Например, высокие давление и температура позволяют выращивать искусственные алмазы в лаборатории в течение нескольких суток, в то время как природные алмазы формируются в недрах Земли в течение миллионов лет.

Исследование воздействия высокого давления на материалы привело к открытию ранее неизвестных минералов. Учёные предполагают, что они залегают в глубоких слоях мантии Земли, где давление составляет более 140 ГПа.



Давление тем больше, чем меньше площадь, на которую действует сила. И наоборот, при увеличении площади, на которую действует сила, давление уменьшается.

**ВЫВОД**

Давление в природе и технике

**КЛЮЧЕВЫЕ  
СЛОВА**

**И ВОПРОСЫ  
ЗАДАНИЯ**

1. Какими способами можно увеличить давление, а какими — уменьшить?
2. Какие примеры использования больших площадей опоры для уменьшения давления вы можете привести?
3. Для чего у рюкзаков делают широкие лямки?
4. Если тяжёлую попкуку нести за верёвку, то ощущается сильная боль (режет пальцы), а если под верёвку подложить сложенный в несколько раз лист бумаги, то боль уменьшается. Объясните почему.
5. Объясните назначение напёрстка, надеваемого на палец при шитье иглой.
6. Почему удобнее класть голову на подушку, чем на твёрдую поверхность?
7. К человеку, под которым провалился лёд, подходить нельзя. Для спасения ему протягивают лестницу или доску. Объясните, почему таким способом можно спасти провалившегося.



- Значение **давления** для человека и животных.
- **Увеличение давления** при помощи зубов, клыков, когтей, клювов, жал в животном мире.
- **Уменьшение давления** больших ступней у животных.
- **Увеличение давления** при работе с иглой, ножницами, ножом.



## § 45 РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

- **ЗАДАЧА 1.** Человек, идущий по тонкому льду, проваливается в воду и просит о помощи. В такой ситуации спасатель подползает к 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  $0,07 \text{ м}^2$ , и лёжа, если площадь его опоры равна  $0,7 \text{ м}^2$ .

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 мальчик действует на опору, равна его весу ( $F = P$ ):

$$P = mg.$$

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

$$p_1 = \frac{F}{S_1} = \frac{mg}{S_1}; \quad p_1 = \frac{65 \text{ кг} \cdot 9,8 \text{ Н/кг}}{0,07 \text{ м}^2} = 9100 \text{ Па}.$$

Давление  $p_2$ , которое оказывает человек лёжа, равно:

$$p_2 = \frac{F}{S_2} = \frac{mg}{S_2}; \quad p_2 = \frac{65 \text{ кг} \cdot 9,8 \text{ Н/кг}}{0,7 \text{ м}^2} = 910 \text{ Па}.$$

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

Ответ: 9100 Па; 910 Па.

- **ЗАДАЧА 2.** С какой силой оса вонзает своё жало в кожу человека, если площадь острия жала  $0,000000000003 \text{ см}^2$ , а производимое им давление  $3 \cdot 10^{10} \text{ Па}$ ?

Дано:  
 $S = 0,000000000003 \text{ см}^2$   
 $p = 3 \cdot 10^{10} \text{ Па}$

$F = ?$

СИ  
 $3 \cdot 10^{-16} \text{ м}^2$

Решение.

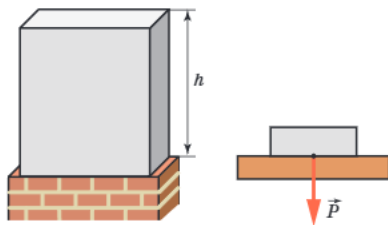
Сила определяется по формуле  $F = pS$ , тогда

$$F = 3 \cdot 10^{10} \text{ Па} \cdot 3 \cdot 10^{-16} \text{ м}^2 = 0,000009 \text{ Н} = 9 \text{ мкН}.$$

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

Ответ: 9 мкН.

- **ЗАДАЧА 3.** Определите давление, которое производит бетонная стена высотой 15 м на фундамент. Плотность бетона  $2200 \text{ кг/м}^3$ .



Дано:

$$h = 15 \text{ м}$$

$$\rho = 2200 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$p = ?$

Решение.

Установленная на фундамент бетонная стена оказывает на него давление  $p = \frac{P}{S}$ , где  $P$  — вес стены,  $S$  — площадь опоры.

Вес стены  $P = mg$ .

Поскольку масса стены  $m = \rho V$ , где  $V = Sh$  — объём стены, получим:

$$p = \frac{P}{S} = \frac{mg}{S} = \frac{\rho Vg}{S} = \frac{\rho Shg}{S}$$

Сократим эту дробь на  $S$ :

$$p = \rho hg.$$

$$p = 2200 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 15 \text{ м} \cdot 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} = 3,3 \cdot 10^5 \text{ Па.}$$

Ответ:  $3,3 \cdot 10^5 \text{ Па}$ .

### Задачи для самостоятельного решения

- 1 С какой силой нужно надавить на иглу, чтобы оказать давление на поверхность ткани, равное 100 МПа? Площадь острия иглы равна  $0,03 \text{ мм}^2$ .
- 2 Пачка бумаги формата А4 весит 2448 г. В пачке 500 листов. Определите давление, которое оказывает эта пачка на стол, и давление одного листа бумаги на стол (размеры листа формата А4  $21 \times 29,7 \text{ см}^2$ ).
- 3 Плита имеет размеры  $100 \times 80 \times 20 \text{ см}^3$  и весит 100 Н. Плита может быть поставлена на опору любой гранью. Сколькими способами может быть установлена плита? Определите давление, оказываемое на опору, для каждого из возможных способов установки.
- 4 На столе лежат два деревянных кубика, длина рёбер которых 2 см и 4 см. Кубики изготовлены из древесины одинаковой плотности. Одинаковое ли давление оказывают кубики на поверхность стола? А если оно отличается, то во сколько раз?
- 5 Определите наибольшую высоту кирпичной стены, которая не разрушалась бы под действием собственной силы тяжести. Допустимое давление, которое может выдержать кирпич, составляет 1,25 МПа. Плотность кирпича  $1600 \text{ кг/м}^3$ .

## § 46 ПРИРОДА ДАВЛЕНИЯ ГАЗОВ И ЖИДКОСТЕЙ

### НОВОЕ В УРОКЕ

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

### ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

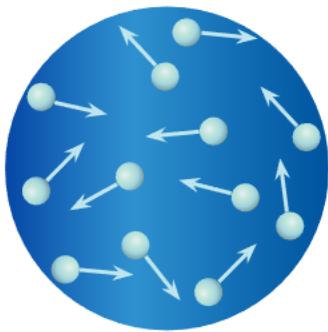
- Что такое давление?
- Каковы различия в строении газов, жидкостей и твёрдых тел?

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. Именно поэтому сила, действующая на твёрдое тело, 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.

### ВАЖНО

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

ИССЛЕДОВАНИЕ

Под колокол воздушного насоса поместим завязанный резиновый шарик. Он содержит небольшое количество воздуха. Будем откачивать насосом воздух из-под колокола. Вокруг оболочки шарика воздух становится всё более разреженным, и он, раздуваясь, принимает форму шара.



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, в среднем 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. И наоборот, если увеличить объём газа, его молекулы будут реже ударяться о стенки сосуда и давление газа уменьшится.

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

## ИССЛЕДОВАНИЕ

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.

**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 вышележащий слой жидкости своим весом оказывает давление на нижележащие слои. Внутри жидкости всегда существует давление, которое называется гидростатическим.



## ЭТО ИНТЕРЕСНО

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

**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.



## ВЫВОД

! Давление газа обусловлено иными причинами, чем давление твёрдого тела на опору. Давление газа на стенки сосуда вызывается ударами молекул газа.

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Давление газа; давление жидкости

## ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Чем вызвано давление газа?
2. Как изменяется давление газа при его нагревании и сжатии?
3. Как изменяется давление жидкости с увеличением глубины?
4. Почему сплюснутый футбольный мяч или накачанная велосипедная шина быстро принимают свою прежнюю форму, если на них перестают действовать деформирующие силы?
5. Объясните, почему надутый бумажный или полиэтиленовый пакет с треском лопается, если по нему ударить рукой.

# ДАВЛЕНИЕ В ЖИДКОСТИ И ГАЗЕ. § 47

## ЗАКОН ПАСКАЛЯ

### НОВОЕ В УРОКЕ

- Как формулируется закон Паскаля.
- Физический смысл закона Паскаля.

### ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

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

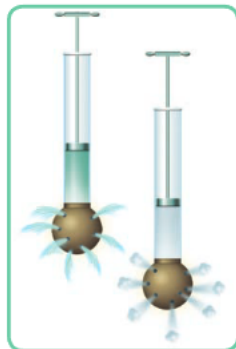
Как передаётся давление в жидкости или газе, если на них оказывается внешнее давление?

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

### ИССЛЕДОВАНИЕ

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.



### ВАЖНО

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

**Закон Паскаля.** Давление, производимое на покоящуюся жидкость или газ, передаётся без изменений в любую точку по всем направлениям.

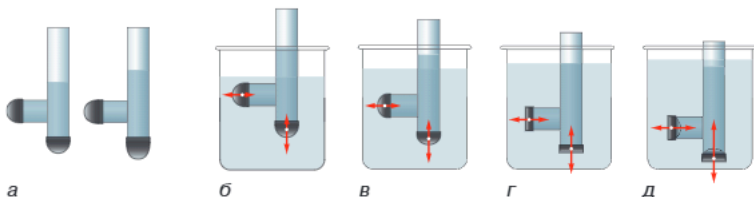
Этот закон был установлен в 1653 г. французским физиком и математиком Блезом Паскалем и носит его имя.

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.

**ДАВЛЕНИЕ В ЖИДКОСТИ.** При помощи опыта исследуем, как давление в жидкости меняется с глубиной.

## ИССЛЕДОВАНИЕ

Возьмём стеклянную трубку с боковым отверстием, у которой и дно, и боковое отверстие закрыты резиновой плёнкой. Налъём 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 (рис. а).

Опустим нашу трубку с водой в широкий сосуд, также наполненный водой (рис. б). По мере опускания трубки резиновая плёнка постепенно выпрямляется (рис. в). Полное выпрямление плёнки показывает, что силы давления воды, действующие на нижнюю плёнку сверху и снизу, равны (рис. г). Также равны между собой и силы, действующие на верхнюю плёнку, слева и справа. При этом уровни воды в трубке и сосуде совпадают.

Если продолжить погружение трубки, плёнка начнёт выгибаться внутрь, что свидетельствует о том, что сила, действующая на неё снаружи, превосходит силу, действующую изнутри (рис. д).

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

## ВЫВОДЫ

- ❗ По закону Паскаля давление, производимое на жидкость или газ, передаётся без изменений в любую точку во всех направлениях.
- ❗ Внутри жидкости существует давление, и на одном и том же уровне оно одинаково по всем направлениям. С глубиной давление увеличивается.

КЛЮЧЕВЫЕ  
СЛОВА

Давление газа; давление жидкости; закон Паскаля

И ВОПРОСЫ  
ЗАДАНИЯ

1. Как изменяется давление жидкости с увеличением глубины?
2. Как формулируется закон Паскаля?
3. Выполняется ли закон Паскаля для твёрдых тел? Ответ поясните.
4. Приведите пример опыта, показывающего, что внутри жидкости существует давление.
5. Приведите пример опыта, показывающего, что на одном и том же уровне давление одинаково.
6. Приведите пример опыта, показывающего, что с глубиной давление увеличивается.
7. Объясните, как проявляется закон Паскаля при выдавливании из тюбика зубной пасты; при выдувании мыльного пузыря.
8. Почему взрыв, произведённый под водой, оказывается губительным для живых организмов?

# ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА § 48

## НОВОЕ В УРОКЕ

- Какие технические устройства называют пневматическими и как они работают.

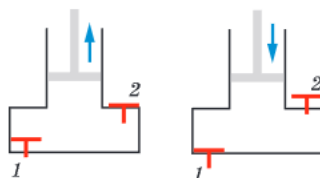
## ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Как возникает давление в газе?
- От чего зависит давление газа?

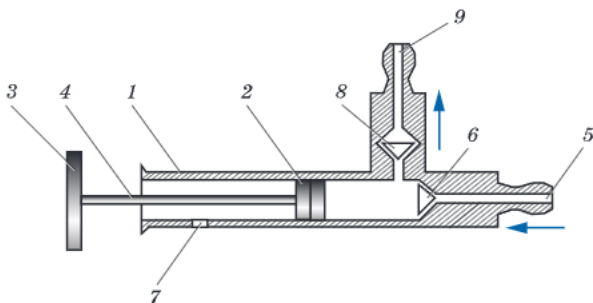
В различных областях техники и промышленности можно встретить пневматические устройства, т. е. устройства, приводимые в действие сжатым воздухом.

**НАСОС И НИППЕЛЬ.** Рассмотрим сначала устройство простейшего насоса, который используется для накачивания мячей, велосипедных или автомобильных камер.

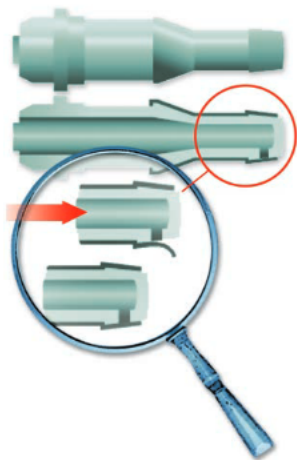
Насос — это поршень, в котором есть два клапана 1 и 2 (см. рисунок). Клапан — это устройство, которое пропускает газ или жидкость в одну сторону и не пропускает в другую. При подъёме поршня вверх открывается клапан 1, и в корпус насоса входит воздух. При этом клапан 2 оказывается закрытым. При опускании поршня воздух под ним сжимается, клапан 1 закрывается, а клапан 2 открывается. Через клапан 2 воздух уходит, например, в велосипедную камеру или в мяч.



Рассмотрим устройство простого насоса более подробно.



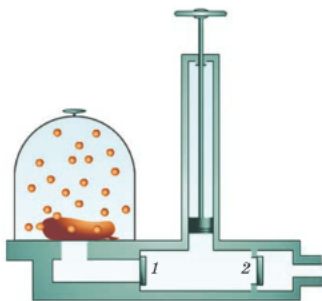
Корпус насоса 1 чаще всего имеет форму цилиндра. Внутри корпуса перемещается поршень 2, который соединён с рукояткой 3 при помощи штока 4. Для обеспечения герметичности поршень оснащён специальными прокладками, сделанными из резины или другого подобного материала. Воздух попадает в корпус через трубочку 5, снабжённую клапаном 6. При движении поршня наружу в корпусе уменьшается давление, клапан открывается, и воздух извне устремляется внутрь корпуса. Есть разновидности насосов, в которых отсутствуют детали 5 и 6. В таких насосах в корпусе есть отверстие 7, через которое воздух попадает в корпус при движении поршня наружу. При движении поршня внутрь корпуса воздух сжимается, давление в нём возрастает, и он устремляется через клапан 8 в трубочку 9.



В велосипедном насосе роль деталей 8 и 9 выполняет ниппель, через который воздух выходит из насоса и 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.

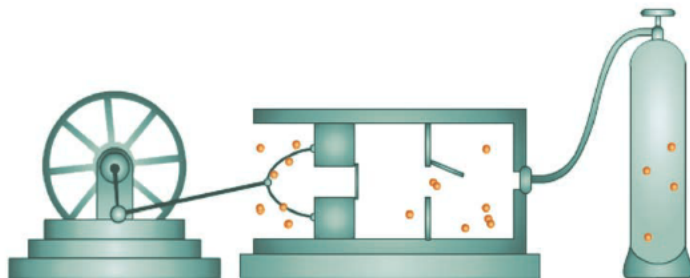
Обратно же воздух через трубочку пройти не может.

**ПОРШНЕВОЙ ВОЗДУШНЫЙ НАСОС С КЛАПАНАМИ.** Кроме насосов, которые нагнетают газ в некоторый объём, существуют насосы, которые используют для разрежения газа. В качестве примера рассмотрим *поршневой воздушный насос с клапанами* (см. рисунок). Воздух откачивается из сосуда. При движении поршня вверх в камере между клапанами понижается давление. Из-за разности давления 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*.

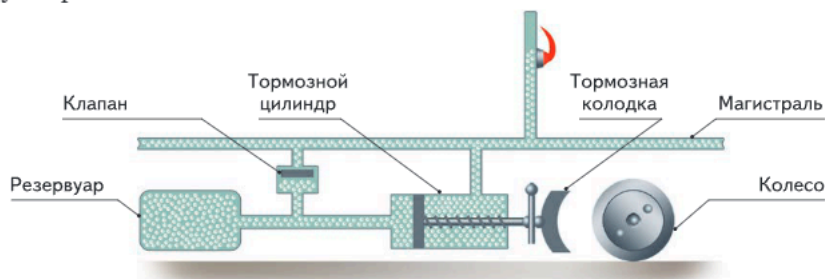
**НАГНЕТАТЕЛЬНЫЙ НАСОС-КОМПРЕССОР.** Ещё один вид насоса — *нагнетательный насос-компрессор* (см. рисунок). При вращении маховика поршень движется в цилиндре вправо и влево. При движении поршня вправо сжатый воздух открывает клапан на заслонке и нагнетается в баллон. При движении поршня влево новая порция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



ЭТО ИНТЕРЕСНО

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.

! Давление газа используется в различных пневматических устройствах.

ВЫВОД

Насос; ниппель; поршневой воздушный насос с клапанами; нагнетательный насос-компрессор; пневматические тормоза

КЛЮЧЕВЫЕ  
СЛОВА

ВОПРОСЫ  
И ЗАДАНИЯ

1. Какие устройства называют пневматическими?
2. Как устроен ниппель?
3. Опишите принцип действия пневматического тормоза.
4. Приведите примеры других пневматических устройств, применяемых в быту и технике.

## § 49 РАСЧЁТ ДАВЛЕНИЯ ЖИДКОСТИ НА ДНО И СТЕНКИ СОСУДА

### НОВОЕ В УРОКЕ

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

### ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- 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?

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**.

**РАСЧЁТ 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:

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

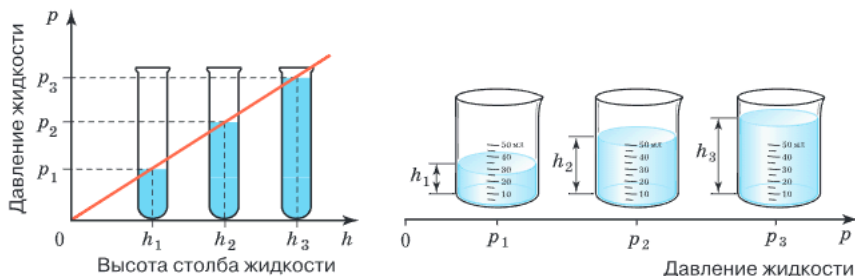
**РАСЧЁТ ДАВЛЕНИЯ ЖИДКОСТИ НА СТЕНКИ СОСУДА.** Так как по закону Паскаля давление внутри жидкости на одном и том же уровне одинаково по всем направлениям, то по формуле (4) можно находить давление жидкости на стенки сосуда на любой глубине.



Если обозначить величины: давление жидкости —  $p$ , плотность жидкости —  $\rho$ , высота столба —  $h$  и ускорение свободного падения —  $g$ , то **давление жидкости** на дно и стенки сосуда рассчитывают по формуле

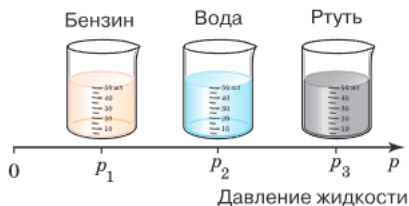
$$p = \rho gh.$$

**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. Поэтому графиком зависимости давления от высоты столба жидкости является прямая (см. рисунок).



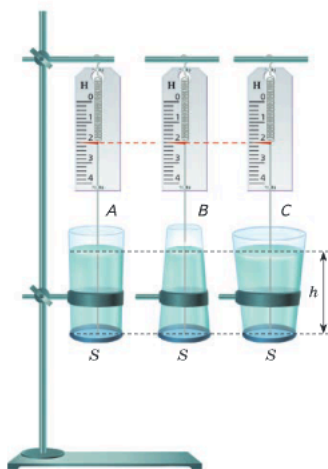
Давление жидкости на дно и стенки сосуда зависит не только от высоты столба жидкости, но и от плотности жидкости  $\rho$ . Чем больше плотность жидкости, тем большее давление она оказывает при условии, что высота столба жидкости остаётся постоянной. Например, при одной и той же высоте столба жидкости давление, которое оказывает ртуть на дно сосуда, больше, чем соответствующее давление, оказываемое водой, которое, в свою очередь, больше соответствующего давления, оказываемого бензином (см. рисунок).

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.



**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.

Рассмотрим опыт, в котором используются сосуды со съёмным дном, соединённым с крючком динамометра. Сосуды имеют разную форму, но оди-



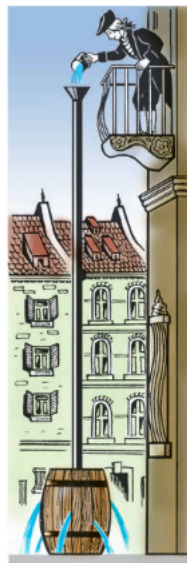
жидкости в сосуде *C*. Несмотря на кажущееся противоречие, ничего парадоксального в этих опытах нет.

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

наковую площадь дна. В сосуды налита жидкость до одного и того же уровня.

Приведённая схема опыта показывает, что сила, с которой жидкость давит на дно этих сосудов, будет одинаковой. При этом 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



#### Вывод

! Давление жидкости на дно и стенки сосуда зависит только от плотности и высоты столба жидкости и не зависит от формы сосуда.

#### Ключевые слова

Давление жидкости; гидростатическое давление; опыт Паскаля

#### Вопросы и задания

1. От каких величин зависит давление жидкости на дно и стенки сосуда?
2. Почему на одной и той же глубине давление воды больше в море, чем в реке?
3. Может ли сила, с которой жидкость оказывает давление на дно сосуда, быть меньше веса жидкости, налитой в сосуд? Если да, то нарисуйте форму такого сосуда.

# ИССЛЕДОВАНИЕ МОРСКИХ И ОКЕАНСКИХ ГЛУБИН § 50

## НОВОЕ В УРОКЕ

Несмотря на то что 70 % нашей планеты покрыто водой, на сегодняшний день изучено менее 5 % Мирового океана. По поверхности океана постоянно перемещаются исследовательские, промышленные и туристические суда, но самые глубокие части океана остаются загадкой для человека. Трудности исследования морских глубин связаны с экстремальным давлением. Например, на глубине 10 км давление воды составляет около ста миллионов паскалей (100 000 000 Па).

- Как морские обитатели приспособлены к жизни на большой глубине.
- Какие приспособления и аппараты человек использует для исследования морских глубин.

## ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Как формулируется закон Паскаля?
- Что такое гидростатическое давление?
- От каких величин зависит давление жидкости на дно и стенки сосуда?

**ГЛУБОКОВОДНЫЕ РЫБЫ.** Как вы знаете, давление жидкости увеличивается с глубиной. Чем глубже мы погружаемся в воду, тем больше становится давление. Однако, несмотря на огромное давление, на больших глубинах живут рыбы и некоторые другие живые существа: различные иглокожие, ракообразные, моллюски, черви. Организмы этих животных приспособлены к существованию в условиях большого давления. Они не имеют плавательного пузыря и других полостей, содержащих воздух. Их размеры малы по сравнению с обитателями поверхностных вод, так как чем меньше площадь поверхности, тем меньшая сила будет оказывать давление со стороны воды. Кроме этого, внутри тела глубоководных животных поддерживается давление, равное внешнему давлению воды. Именно поэтому учёным трудно изучать глубоководных животных, поскольку, если их поднимают на поверхность, они, как правило, быстро умирают в результате разрыва внутренних органов из-за переизбытка внутреннего давления.

Солнечный свет проникает только на глубину до 500 м, поэтому на больших глубинах наступает полная темнота. Там нет водорослей, низкая температура воды и недостаток кислорода. Поэтому обитатели глубин либо слепые, либо, наоборот, имеют очень развитые глаза. Некоторые из глубоководных животных светятся собственным светом.

## ЭТО ИНТЕРЕСНО

Из-за того что вода в морских глубинах находится под огромным давлением, на дне океана она более сжата, чем у поверхности. Поэтому плотность воды значительно увеличивается с глубиной. Например, средняя плотность морской воды на глубине до 1000 м составляет примерно  $1030 \text{ кг/м}^3$ , а средняя плотность на глубине 10 км —  $1070 \text{ кг/м}^3$ . Если бы вода была несжимаемой и плотность воды на всех глубинах была одинаковой, то уровень Мирового океана повысился бы на 36 м.

**ПОДВОДНОЕ ПЛАВАНИЕ.** Человек начал осваивать подводный мир ещё в глубокой древности. В Древней Греции ныряльщики занимались добычей губки с морского дна, а также участвовали в военных операциях. В Японии одной из древнейших профессий является ловец жемчуга. Ныряльщик задерживал дыхание и с тяжёлым камнем в руках мог опускаться на глубину до 30 м.

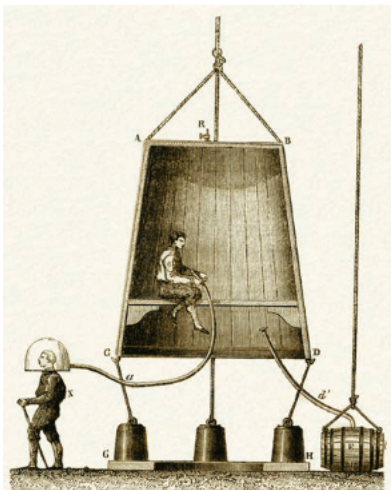
Чтобы увеличить время пребывания и дышать под водой, люди стали использовать полые тростниковые трубки. Но даже при использовании дыхательных трубок, выступающих над водой, глубина погружения человека не может превышать 1,5 м, так как из-за давления воды у него не хватит сил увеличить объём грудной клетки и вдохнуть воздух.

### ▶ ЭТО ИНТЕРЕСНО

В наше время популярностью пользуется фридайвинг — подводное плавание и погружение с задержкой дыхания и без использования дыхательных аппаратов. Сегодня фридайвинг является также видом спорта. Мировым рекордом является погружение на глубину 253 м. Подобные погружения очень опасны, поскольку, кроме большого давления на глубине, спортсменам приходится задерживать дыхание на длительное время — до 10—12 минут. А для этого нужны долгие тренировки.

**ВОДОЛАЗНЫЙ КОЛОКОЛ И ВОДОЛАЗНЫЕ КОСТЮМЫ.** На глубине, превышающей 1,5 м, человек может дышать только сжатым воздухом, давление которого равно давлению воды на данной глубине. В XVI в. начали появляться различные конструкции для погружения под воду. Одним из таких изобретений стал водолазный колокол. Он представлял собой открытую у основания бочку, напоминавшую колокол. При погружении вода поступала в колокол снизу и сжимала воздух в колоколе до тех пор, пока давление воздуха не сравняется с давлением воды. Более поздние варианты конструкции предусматривали подачу воздуха под колокол по кожаным трубкам и выведение использованного воздуха наружу. Использование подобных устройств увеличивало время нахождения ныряльщиков под водой. Вместо того чтобы подниматься на поверхность, они заплывали под колокол, вдыхали воздух и возвращались к работе.

Одновременно с изобретением водолазного колокола разрабатывались и водолазные костюмы, которые позволяли несколько увеличить глубину погружения. Сделанные из кожи, они сохраняли оптимальную температуру тела на глубокowodье, а металлический шлем выдерживал высокое внешнее давление. Через шланг, соединённый со шлемом, с поверхности поступал воздух.



Начиная с XIX в. погружение под воду стало носить научный характер. Учёные стали изучать влияние давления на организм человека, определять безопасную глубину погружения и рассчитывать длительность пребывания под водой человека, дышащего сжатым воздухом. Было замечено, что при длительном пребывании на глубине или слишком быстром подъёме у пловцов наблюдались зуд кожи, головокружение, боли в суставах, что иногда приводило к потере сознания или гибели. Это состояние впоследствии назвали декомпрессионной или *кессонной болезнью*. Она возникает при быстром понижении давления вдыхаемого воздуха. В результате этого газы, растворённые в крови и тканях организма, выделяются в кровь в виде пузырьков и разрушают стенки клеток и кровеносные сосуды. Чтобы предотвратить кессонную болезнь, давление сжатого воздуха или газов, которыми дышит ныряльщик, снижают постепенно, а возвращение с глубины происходит поэтапно.

**АКВАЛАНГ.** Массовое производство газовых баллонов высокого давления, начатое в конце XIX в., побудило изобретателей приступить к разработкам дыхательных аппаратов для глубинных погружений. В 1943 г. французские исследователи Ж. Кусто и Э. Ганьян изобрели акваланг — специальный аппарат со сжатым воздухом, предназначенный для дыхания под водой и позволяющий находиться там от нескольких минут (на глубине около 40 м) до часа и более.

Акваланг состоит из одного или нескольких баллонов и регулятора давления. В баллонах находится сжатый воздух или газовая смесь под давлением  $200 \cdot 10^5$ — $300 \cdot 10^5$  Па. Регуляторы позволяют постепенно снижать давление поступающего из баллона газа для дыхания, чтобы избежать наступления кессонной болезни.



**ВОДОЛАЗНЫЙ СКАФАНДР.** Водолазные костюмы, созданные в XVI—XVII вв., совершенствовались с появлением новых материалов и технологий. Современные водолазные скафандры предназначены для работ на большой глубине. Скафандры подразделяют на мягкие (резиновые) и жёсткие. Мягкие скафандры не защищают от воздействия внешнего давления воды, глубина погружения обычно не превосходит нескольких десятков метров. Жёсткие скафандры изготавливают из алюминия, и они имеют шарнирные соединения, чтобы водолазу легче было перемещаться под водой. При этом внутри скафандра поддерживается давление, равное давлению воздуха на поверхности, и человек может дышать обычным несжатым воздухом. В таком скафандре водолазы могут работать на глубине до 700 м в течение нескольких часов.



**ПОДВОДНАЯ ЛОДКА.** Очередным шагом в освоении морских глубин было изобретение *подводной лодки*. Подводная лодка — корабль, приспособленный для плавания и выпол-

нения военных, исследовательских и других задач в подводном и надводном положении. Так как внутри лодки поддерживается давление воздуха, равное давлению воздуха на поверхности, то корпус должен быть достаточно прочным, чтобы выдерживать внешнее давление воды на больших глубинах. Для погружения подводной лодки заполняют водой специальные цистерны, а для движения применяют дизельные двигатели, электродвигатели или атомную энергию. Подводные лодки способны плавать на глубине 400—500 м.

**БАТИСФЕРА И БАТИСКАФ.** В результате усовершенствования водолазного колокола появились такие современные глубоководные аппараты, как *батисфера* и *батискаф*. Батисфера представляет собой глубоководный аппарат в форме шара, который опускают на тросе с судна. Батисфера была разработана и построена в 1929 г. инженером О. Бартоном и американским зоологом У. Биби. В 1934 г. они установили рекорд, погрузившись на глубину 923 м.



Современные батисферы вмещают в себя экипаж (обычно три человека), научно-исследовательскую аппаратуру, систему регенерации воздуха, телефон. В стенках батискафа устанавливают иллюминаторы из прочного стекла. Прожектор освещает водное пространство, куда уже не может проникнуть солнечный свет. Благодаря этому учёные могут изучать подводный мир и наблюдать за глубоководными животными в их естественной среде обитания. На батисфере можно опускаться на глубину до 1 км.

Главные недостатки батисферы очевидны: она не может самостоятельно передвигаться, и существует опасность затонуть при обрыве троса. Поэтому широкое распространение получил другой глубоководный аппарат — батискаф. Батискаф не связан тросом с кораблём и представляет собой самоходный аппарат для подводных океанографических и других исследований. Он имеет двигатель и может удаляться от места погружения. Изобретателем батискафа считается швейцарский физик О. Пикар. В 1960 г. сын учёного Ж. Пикар вместе с Д. Уолшем достигли на батискафе дна Марианской впадины в Тихом океане, глубина которой оказалась больше 10 920 м. Исследователи обнаружили живых существ даже на такой большой глубине.

#### Вывод

! Для исследования глубин морей и океанов используют различные глубоководные аппараты. Трудности исследования связаны с экстремальным давлением на большой глубине.

#### Ключевые слова

Глубоководные рыбы; водолазный скафандр; акваланг; батисфера; батискаф

#### и вопросы задания

1. Как живые организмы приспосабливаются к существованию на большой глубине?
2. Почему пловец, нырнувший на большую глубину, испытывает боль в ушах?
3. Почему в акваланге используется не обычный, а сжатый воздух?
4. Объясните, почему для подводных лодок существует предельная глубина погружения.
5. Чем батискаф отличается от батисферы?

# СООБЩАЮЩИЕСЯ СОСУДЫ § 51

## НОВОЕ В УРОКЕ

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

## ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- 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, называют **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 другую поднимать, опускать или наклонять в сторону, то всё равно, как только движение трубки прекратится, уровни воды в обеих трубках окажутся одинаковыми.

## ПРИНЦИП СООБЩАЮЩИХСЯ СОСУДОВ

### ВАЖНО

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

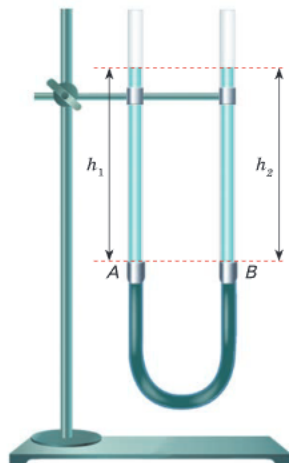
$$\rho_1 = \rho_2.$$

Следовательно,

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

Получаем

$$h_1 = h_2.$$





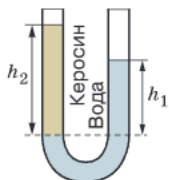
Приведённые рассуждения справедливы для любого выделенного уровня жидкости.

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 РАЗНОРОДНЫМИ ЖИДКОСТЯМИ.** 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  $\frac{h_1}{h_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}$ .

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



**СООБЩАЮЩИЕСЯ СОСУДЫ В ПРИРОДЕ.** Все моря и океаны мира являются сообщающимися сосудами. Все они соединены между собой проливами или построенными человеком каналами. Поэтому по принципу сообщающихся сосудов уровень моря на всей планете одинаков. Однако следует отметить, что в разных частях океана вода различается по температуре, солёности, плотности. Равновесие уровней поддерживается за счёт возникающих течений. Исключениями являются внутренние водоёмы, которые не сообщаются с океаном. В них уровень может быть другим. Например, Мёртвое море является самым низким местом на Земле. Уровень воды в нём на 430 м ниже уровня моря и продолжает понижаться.

Места суши, которые находятся ниже уровня моря, могут быть затоплены водой. Чтобы избежать затопления таких районов, люди устанавливают дамбы.

Примерами сообщающихся сосудов в природе также являются артезианские колодцы и родники.

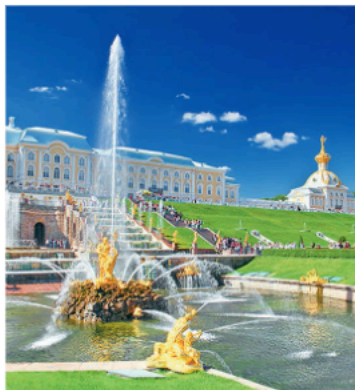
### ▶ ЭТО ИНТЕРЕСНО



Место для бурения артезианской скважины

В отличие от обычного колодца, из артезианской скважины вода сама поднимается на поверхность и бьёт фонтаном. Место для бурения артезианской скважины 1 выбирают на участках, расположенных ниже уровня грунтовых вод 2. Поэтому вода поднимается на поверхность по принципу сообщающихся сосудов. При этом уровень воды в скважине не может быть выше уровня грунтовых вод.

Своим великолепным комплексом фонтанов, который работает по принципу сообщающихся сосудов, славится Петергоф (находится недалеко от Санкт-Петербурга). Эта уникальная система, связывающая между собой более 170 фонтанов и 5 каскадов, была построена более трёхсот лет назад при Петре I и продолжает работать по сей день без использования насосов. Вода из естественных источников поступает по каналам и заполняет пруды и бассейны в Верхнем парке, а затем по водопроводам поступает в Нижний парк, где фонтаны могут выбрасывать струи на высоту до 15 м.



Равновесие вод Мирового океана поддерживается за счёт существующих океанических течений. Вместе с тем имеются примеры нарушения этого правила. Одним из таких примеров является различие уровней вод Тихого и Атлантического океанов по разные стороны Панамского канала, соединяющего эти океаны. Различие уровней зависит от времени года и достигает 30 см в сезон дождей. Основная причина этого явления обусловлена различной солёностью вод океанов. В Тихом океане вода более солёная, поэтому её плотность больше. В результате у выхода из канала в Тихий океан уровень воды оказывается ниже, чем в Атлантическом океане.

⚠ Сосуды, имеющие общую, соединяющую их часть, называют сообщающимися. В сообщающихся сосудах любой формы и сечения свободные поверхности однородной жидкости устанавливаются на одном уровне.

ВЫВОД

Сообщающиеся сосуды; артезианский колодец

КЛЮЧЕВЫЕ  
СЛОВА

И ВОПРОСЫ  
ЗАДАНИЯ

1. На каком свойстве жидкости основан принцип сообщающихся сосудов?
2. Как располагаются поверхности однородной жидкости в сообщающихся сосудах?
3. Как располагаются поверхности неоднородных жидкостей в сообщающихся сосудах?
4. Река Нева в Санкт-Петербурге соединена с большим числом каналов. Почему возникает опасность выхода из берегов воды в этих каналах при поднятии уровня воды в Неве?
5. Объясните принцип работы фонтана. От чего зависит высота подъёма воды в фонтане?

## § 52 ВОДОПРОВОД И КАНАЛИЗАЦИЯ — ВАЖНЕЙШИЕ ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА

### НОВОЕ В УРОКЕ

- Как устроены водопровод и канализация.

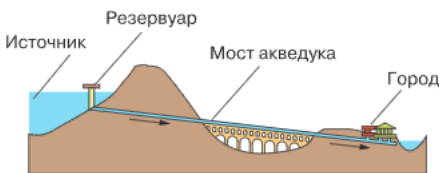
#### ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое сообщающиеся сосуды?
- В чём заключается принцип сообщающихся сосудов?

Водопровод и канализация являются важными инженерными сооружениями, которые обеспечивают нас чистой водой и позволяют убирать отходы, которые мы производим. До их появления наша цивилизация в разные периоды своего развития сталкивалась с недостатком воды и распространением болезней из-за плохой гигиены. В основе устройства как водопровода, так и канализации лежит принцип сообщающихся сосудов.

**РИМСКИЙ АКВЕДУК.** Водопроводом называют систему устройств и сооружений для подачи воды к местам потребления.

Выживание человека во многом зависит от наличия воды или её отсутствия. Древние города и поселения обычно возникали вблизи источников воды. С ростом городов и населения необходимо было развивать системы водоснабжения и придумать способ доставки воды от отдалённых водоёмов к любому городу.



Раскопки 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. В Древней Греции в VI в.

до н. э. была построена подземная система водоснабжения — Эвпалинов тоннель на острове Самос, который обеспечивал город пресной водой из удалённого источника.

Среди наиболее известных древних систем водоснабжения являются римские акведуки.

Акведук — это сооружение (канал) для подачи воды. Акведуки строятся так, что вода текла над впадинами или холмами под действием собственного веса: от водного источника к населённым пунктам, расположенным ниже этого источника. Работа акведуков основана на принципе сообщающихся сосудов. Течение воды происходит из-за стремления жидкости выровнять уровни в источнике и конечном пункте назначения.

Римские акведуки до сих пор считаются чудом инженерной мысли. Во-первых, необходимо было найти источник воды, который находился выше уровня Рима в нескольких десятках километров от города.



А для этого нужны были довольно точные измерения рельефа местности. Во-вторых, чтобы вода текла по акведуку с малой скоростью, его уклон делался небольшим — всего лишь 10—30 см на 1 км. Попробуйте положить на стол метровую линейку и сделать уклон 0,1 мм. Это очень непростая инженерно-техническая задача, требующая высокой точности.

Общая длина римских акведуков составляла почти 350 км, причём большая их часть проходила под землёй в виде туннелей. При пересечении долины акведуки представляли собой арки, опирающиеся на столбы и колонны. Некоторые из построенных акведуков существуют до сих пор и функционируют.

В городе вода из акведуков распределялась в общественные бани, фонтаны и дома горожан. Системы трубопроводов были сделаны из камня и брёвен, а позднее из глины и свинца. Чугунные трубы, способные выдерживать высокое давление, появились в XIX в.

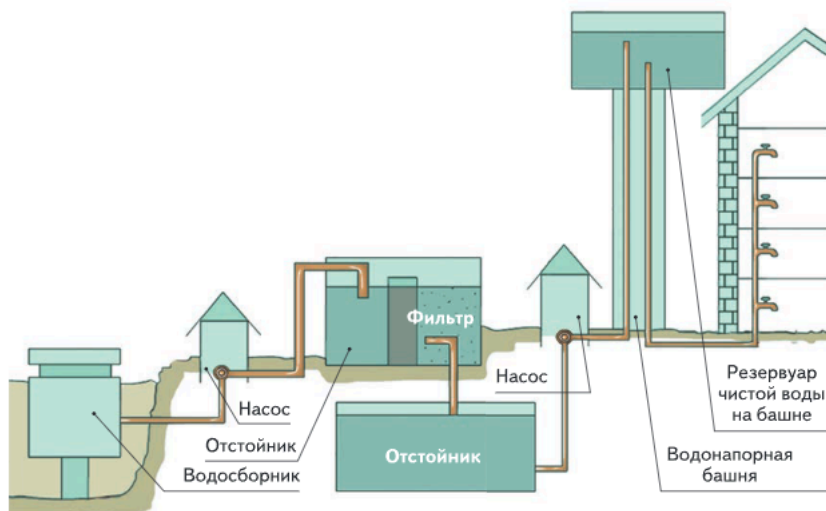
**МОСКОВСКИЙ ВОДОПРОВОД.** На Руси простейшие водостоки и самотёчные водопроводы строили с XII в. По дубовым или кирпичным трубам, проложенным под землёй, вода из Москвы-реки или найденных родников текла в город. В XVII в. в Москве появился первый механизированный водопровод. Вода из Москвы-реки поднималась в баки, установленные на большой высоте в верхних ярусах башни, получившей название Водовзводная. Подъём осуществлялся с помощью специального водяного колеса, приводимого в движение лошадьми, идущими по кругу. А отсюда по трубам поступала в сады и дворцы Кремля.



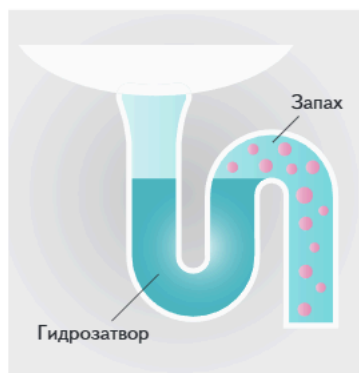
Из-за отсутствия в городе канализации все отходы сливались в пруды и реки. Поэтому после XVIII в. возникла задача поиска чистой воды и её доставки в Москву. В 1804 г. начал работать Ростокинский акведук, подававший воду от родников в Мытищах в Москву. Позднее были построены и другие подобные водопроводные сети.

В 2004 г. в Мытищах Московской области установлен единственный в мире памятник водопроводу.

**СОВРЕМЕННАЯ СИСТЕМА ВОДОСНАБЖЕНИЯ.** В настоящее время система водоснабжения обычно включает в себя: водозаборные сооружения, насосные станции, очистные сооружения, водоводы для транспортировки воды, сооружения для хранения воды и канализацию. Источником воды для нашего водоснабжения являются реки, озёра, водохранилища или подземные воды. С помощью насосных станций вода из источника передаётся в очистные сооружения. Вода проходит предварительную очистку: из неё удаляются крупные частицы песка, глины, ила, водорослей. В зависимости от цели использования из воды удаляются различные нежелательные химические вещества и биологические загрязнители, она фильтруется, отстаивается в резервуарах и обеззараживается. Далее чистая вода по системе водоводов (труб) поступает в водонапорную башню и распределяется по потребителям.



Водонапорная башня необходима для регулирования напора и расхода воды в водопроводной сети. Например, когда расходуется мало воды, её избыток накапливается, а когда расход воды увеличивается, вода подаётся в сеть из резервуаров в водопроводной башне.



#### ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ЗАТВОР (СИФОН).

В системе канализации используется довольно простое изобретение, которое облегчает нашу жизнь, — сифон, или гидравлический затвор. Он есть в каждой квартире под раковиной или унитазом. Сифон представляет собой изогнутую трубку, в которой находится небольшое количество воды. По принципу сообщающихся сосудов вода в изогнутых частях трубки устанавливается на одном уровне. Благодаря этому воздух из трубки, опускающейся вниз в канализацию, не попадает в часть трубки, соединённой с раковиной. В результате запах из канализации не попадает к нам в квартиру.

#### ВЫВОД

! Устройство водопровода и канализации основано на принципе сообщающихся сосудов.

#### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Водопровод; акведук; канализация; гидравлический затвор

#### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Почему вода течёт по акведуку от водного источника к потребителю?
2. Из каких элементов состоит система водоснабжения?
3. Для чего нужна водонапорная башня?
4. Как работает гидравлический затвор?

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАВЛЕНИЯ ЖИДКОСТИ В ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ § 53

## НОВОЕ В УРОКЕ

- Какие приборы называют гидравлическими и как они работают.
- Как работают шлюзы.

## ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Как передаётся давление в жидкости и газе?
- В чём состоит принцип сообщающихся сосудов?

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

**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 одинаково, 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?

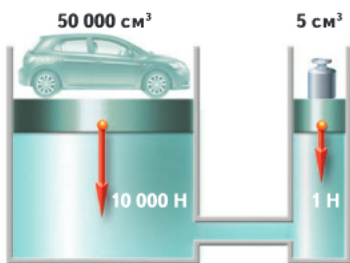
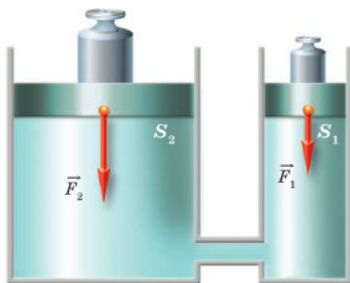
Поскольку в рассматриваемой ситуации жидкость находится в равновесии, то давления под поршнями одинаковы:  $p_1 = p_2$ . Учитывая, что

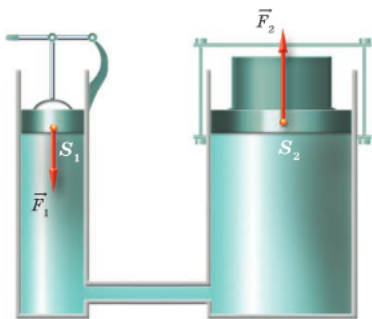
$$p_1 = \frac{F_1}{S_1}, \quad p_2 = \frac{F_2}{S_2}, \quad \text{получаем} \quad \frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}, \quad \text{или} \quad \frac{F_2}{F_1} = \frac{S_2}{S_1}.$$

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.

Например, гидравлическая машина, изображённая на рисунке, позволяет получить выигрыш в силе, равный 10 000.





**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.

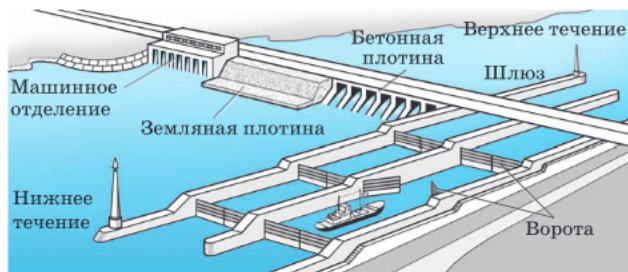
При подъёме большого поршня тело будет упираться в неподвижную верхнюю платформу и сжиматься.

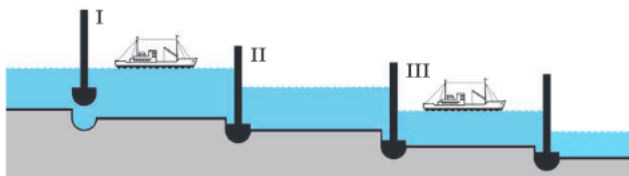
#### ЭТО ИНТЕРЕСНО

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.

**ШЛЮЗЫ.** Ещё одним примером технического устройства, в котором используются изученные нами законы, являются *шлюзы*. Они широко применяются во всём мире для того, чтобы суда могли пройти по каскаду водоёмов, уровень воды в которых различается.

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.





Российская Федерация располагает самой большой в мире сетью внутренних водных путей, используемых для транспортного судоходства. В настоящее время эксплуатируются водные пути общей протяжённостью около 100 тыс. км. На них расположено порядка 700 судоходных гидротехнических сооружений, в том числе 110 судоходных шлюзов.

ЭТО ИНТЕРЕСНО



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 шесть 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.

Позже строительство было продолжено, и в 1722 г. водная система стала судоходной.



Законы, связанные с понятием давления жидкости, помогают объяснить принцип работы огромного количества технических устройств.

ВЫВОД

Гидравлические машины; гидравлический пресс; шлюзы

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

1. Какой закон используют в устройстве гидравлических машин?
2. Чем определяется выигрыш в силе, который даёт гидравлический пресс?
3. Как работают шлюзы?

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

## § 54 РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

- **ЗАДАЧА 1.** Определите давление, которое оказывает толща морской воды на водолаза, находящегося на глубине 45 м. Плотность морской воды 1030 кг/м<sup>3</sup>.

Дано:  
 $h = 45 \text{ м}$   
 $\rho = 1030 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$   
 $p = ?$

Решение.

Давление воды на глубине можно найти по формуле  $p = \rho gh$ .

$$p = 1030 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 45 \text{ м} = 463\,500 \text{ Па} = 463,5 \text{ кПа.}$$

Ответ: 463,5 кПа.

- **ЗАДАЧА 2.** Баржа на реке получила пробоину в днище на глубине 2,5 м ниже уровня воды. С какой силой нужно прижимать щит из досок, чтобы заделать пробоину, если её площадь 300 см<sup>2</sup>?

Дано:  
 $h = 2,5 \text{ м}$   
 $S = 300 \text{ см}^2$   
 $\rho = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$   
 $F = ?$

СИ  
 $0,03 \text{ м}^2$

Решение.

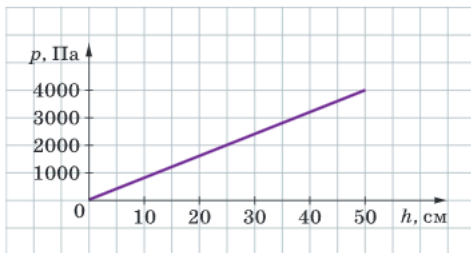
Щит следует прижимать с силой  $F = pS$ , где  $p = \rho gh$  — давление воды на глубине  $h$ .

Тогда  $F = pS = \rho ghS$ .

$$F = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 2,5 \text{ м} \cdot 0,03 \text{ м}^2 = 750 \text{ Н.}$$

Ответ: 750 Н.

- **ЗАДАЧА 3.** Определите, для какой жидкости построен график. Каким будет давление жидкости на глубине 80 см?



Решение. На рисунке представлен график зависимости давления жидкости от высоты столба жидкости. По графику определим, что при высоте  $h = 50 \text{ см} = 0,5 \text{ м}$  давление  $p = 4000 \text{ Па}$ .

Из формулы давления жидкости  $p = \rho gh$  найдём плотность жидкости:

$$\rho = \frac{p}{gh}.$$

$$\rho = \frac{4000 \text{ Па}}{10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 0,5 \text{ м}} = 800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

По таблице плотностей эта плотность соответствует керосину.

Для  $h = 80 \text{ см} = 0,8 \text{ м}$  давление жидкости  $p = 800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 0,8 \text{ м} = 6400 \text{ Па}$ .

Ответ: керосин; 6400 Па.

- **ЗАДАЧА 4.** В сообщающиеся сосуды одинакового сечения налиты ртуть и вода. Высота столба воды равна 20 см. Определите разницу в уровнях поверхностей воды и ртути. Плотность воды  $1000 \text{ кг/м}^3$ , плотность ртути  $13\,600 \text{ кг/м}^3$ .

Дано:

$$h_1 = 20 \text{ см}$$

$$\rho_{\text{в}} = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\rho_{\text{рт}} = 13\,600 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$h = ?$$

Решение.

Разница в уровнях поверхностей воды и ртути:

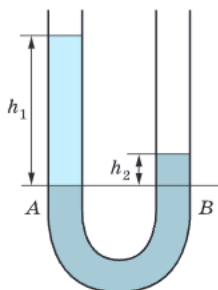
$$h = h_1 - h_2.$$

На уровне  $AB$  давление жидкостей одинаково в обеих частях сосуда:

$$\rho_{\text{в}} g h_1 = \rho_{\text{рт}} g h_2. \text{ Отсюда } h_2 = h_1 \frac{\rho_{\text{в}}}{\rho_{\text{рт}}}.$$

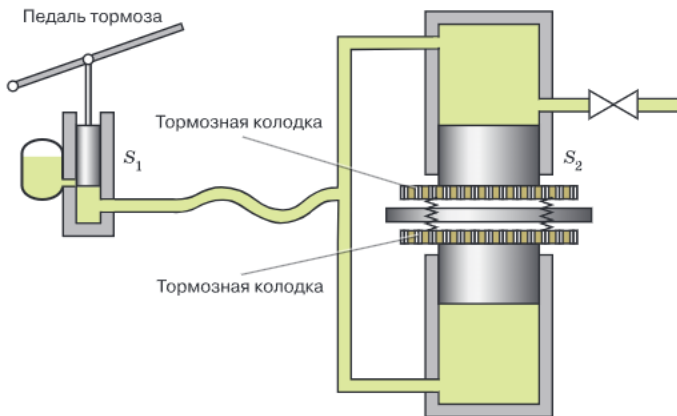
$$h = h_1 - h_1 \frac{\rho_{\text{в}}}{\rho_{\text{рт}}} = h_1 \left( 1 - \frac{\rho_{\text{в}}}{\rho_{\text{рт}}} \right).$$

$$h = 20 \text{ см} \cdot \left( 1 - \frac{1000 \text{ кг/м}^3}{13\,600 \text{ кг/м}^3} \right) \approx 18,5 \text{ см}.$$



Ответ: 18,5 см.

- **ЗАДАЧА 5.** Главный цилиндр гидравлического тормоза имеет диаметр 0,5 см, а цилиндры на тормозных колодках — диаметр 15 см. Какая сила применяется для замедления автомобиля, если водитель нажимает на педаль тормоза с силой 80 Н?



Дано:

$$d_1 = 0,5 \text{ см}$$

$$d_2 = 15 \text{ см}$$

$$F_1 = 80 \text{ Н}$$

$$F_2 = ?$$

Решение.

В гидравлическом тормозе, как и в любой гидравлической машине, соблюдается равенство:

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{S_2}{S_1}.$$

Площадь круга вычисляют по формуле  $S = \frac{\pi d^2}{4}$ , где число  $\pi = 3,14$ ,  $d$  — диаметр.

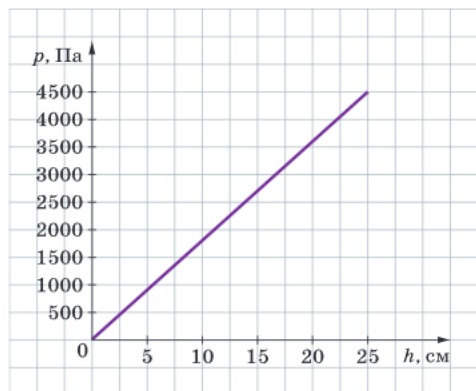
Поэтому  $\frac{F_2}{F_1} = \frac{\pi d_2^2 / 4}{\pi d_1^2 / 4} = \frac{d_2^2}{d_1^2}$ , откуда  $F_2 = \frac{d_2^2}{d_1^2} F_1$ ;

$$F_2 = \frac{(15 \text{ см})^2}{(0,5 \text{ см})^2} \cdot 80 \text{ Н} = 72 \text{ 000 Н} = 72 \text{ кН}.$$

Ответ: 72 кН.

### Задачи для самостоятельного решения

- 1 Определите давление воды на дне плавательного бассейна, глубина которого 5 м.
- 2 Топливный бак шириной 0,5 м и длиной 0,9 м полностью заполнен бензином. Какое давление бензин оказывает на дно бака, если масса бензина равна 50 кг? Плотность бензина 700 кг/м<sup>3</sup>.
- 3 Чему равна высота столба воды в водонапорной башне, если вода выходит у основания башни под давлением 240 кПа?
- 4 Какую жидкость нужно налить в стакан, чтобы при высоте столба жидкости 5 см на дно сосуда оказывалось давление 450 Па?
- 5 Подводная лодка села на мель. Её люк диаметром 0,45 м находится на глубине 25 м. С какой силой необходимо открывать люк изнутри, если давление воздуха внутри подводной лодки составляет 10<sup>5</sup> Па?
- 6 Аквариум, доверху наполненный водой, имеет размеры 120 (длина) × 40 (ширина) × 80 (высота) см<sup>3</sup>. С какими средними силами вода оказывает давление на боковые стенки аквариума? Сравните эти силы с весом воды в аквариуме.
- 7 Определите, для какой жидкости построен график. Высота какого столба жидкости соответствует давлению 684 кПа?
- 8 Столб воды в сообщающихся сосудах высотой 25,8 см уравнивает столб дизельного топлива высотой 30,0 см. Определите плотность дизельного топлива.
- 9 В сообщающиеся сосуды одинакового сечения налита ртуть. Затем в правую часть сообщающихся сосудов наливают воду высотой столба 18 см, а в левую часть — керосин высотой столба 18 см. Определите разницу в уровнях поверхностей воды и керосина. Плотность воды 1000 кг/м<sup>3</sup>, плотность ртути 13 600 кг/м<sup>3</sup>, плотность керосина 800 кг/м<sup>3</sup>.
- 10 В сообщающиеся сосуды площадью поперечного сечения 10 см<sup>2</sup> налита ртуть. Затем в правую часть сообщающихся сосудов наливают 80 г бензина. Какую высоту столба воды нужно налить в левую часть сообщающихся сосудов, чтобы уровни ртути выровнялись? Плотность воды 1000 кг/м<sup>3</sup>, плотность ртути 13 600 кг/м<sup>3</sup>, плотность бензина 700 кг/м<sup>3</sup>.





## Лабораторная работа № 8

### Определение давления эталона килограмма

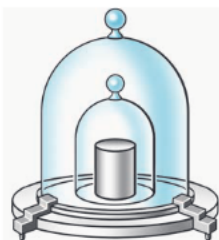
#### Цель работы

Оценить давление, которое оказывает эталон килограмма на подставку.

#### Оборудование и материалы

Линейка, циркуль, карандаш, тетрадный лист.

Международный (исторический) эталон килограмма, который хранится в Международном бюро мер и весов в г. Севре во Франции, представляет собой гиру из платино-иридиевого сплава в форме цилиндра диаметром и высотой 39 мм.



#### Ход работы

- С помощью циркуля и линейки на тетрадном листе в своей тетради начертите окружность диаметром, равным диаметру основания эталона килограмма  $d = 39$  мм (радиус окружности  $R = d/2 = 19,5$  мм).
- Оцените площадь полученного круга (с помощью метода палетки):
  - для оценки минимального значения площади круга посчитайте количество полных квадратиков, попавших внутрь окружности;
  - найдите минимальное значение площади круга  $S_{\min}$ , умножив число полных квадратиков внутри окружности на площадь одного квадратика, учитывая, что сторона одного квадратика равна 5 мм;
  - для оценки максимального значения площади круга посчитайте количество всех полных квадратиков, через которые проходит линия контура окружности и которые находятся внутри окружности;
  - найдите максимальное значение площади круга  $S_{\max}$ , умножив число всех полных квадратиков в окружности на площадь одного квадратика.

Результаты вычислений занесите в таблицу в своей тетради.

Площадь одного квадратика	Число полных квадратиков, попавших внутрь окружности	$S_{\min}$		Число всех полных квадратиков, находящихся внутри и по контуру окружности	$S_{\max}$	
		мм <sup>2</sup>	м <sup>2</sup>		мм <sup>2</sup>	м <sup>2</sup>

- Истинное значение площади круга  $S$  находится между минимальным и максимальным значениями, т. е.  $S_{\min} < S < S_{\max}$ . Найдите среднее значение площади:

$$S_{\text{экс}} = \frac{S_{\min} + S_{\max}}{2}.$$

- Найдите площадь круга  $S_{\text{теор}}$  по формуле  $S_{\text{теор}} = \pi R^2$ , где число  $\pi = 3,14$ ,  $R$  — радиус окружности.
- Сравните  $S_{\text{экс}}$  и  $S_{\text{теор}}$ .
- Найдите вес эталона килограмма.

- Посчитайте давление  $p_{\text{аксп}}$  и  $p_{\text{теор}}$ , которое оказывает эталон килограмма на стол. Результаты вычислений занесите в таблицу в своей тетради.

$S_{\text{аксп}}$		$S_{\text{теор}}$		Вес эталона килограмма $P = mg, \text{ Н}$	Давление, Па	
$\text{мм}^2$	$\text{м}^2$	$\text{мм}^2$	$\text{м}^2$		$p_{\text{аксп}} = \frac{F}{S_{\text{аксп}}}$ ( $F = P$ )	$p_{\text{теор}} = \frac{F}{S_{\text{теор}}}$ ( $F = P$ )

- Сравните полученные результаты.
- Сделайте выводы на основе полученных результатов. Какое давление вычислено более точно? Почему?

### Практическая работа-исследование

#### Изучаем давление

### ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ВЫТЕКАНИЯ ВОДЫ ИЗ ОТВЕРСТИЯ В СОСУДЕ

Вы уже знаете, что давление жидкости на дно и стенки сосуда зависит от высоты столба жидкости. А зависит ли скорость вытекания жидкости через отверстие от высоты столба жидкости над отверстием?

#### Цель работы

Изучить зависимость скорости вытекания воды из отверстия в сосуде от высоты её уровня.

#### ПОМОЩНИК

- В качестве оборудования можно использовать цилиндрическую пластиковую бутылку объёмом 1,5—2 л, линейку, секундомер, пластилин, шило, воду, поддон для сбора воды.
- С помощью шила проделайте в бутылке небольшое отверстие на высоте примерно 10 см от дна. Аккуратно залепите его кусочком пластилина.
- Налейте в бутылку воду до максимального уровня цилиндрической части.
- С помощью линейки измерьте высоту  $h_1$  уровня воды над отверстием.
- Освободив отверстие и включив одновременно секундомер, зафиксируйте время  $\Delta t$  понижения уровня воды  $\Delta h = h_1 - h_2$  примерно на 0,5 см.



- Найдите скорость понижения уровня воды по формуле  $v = \frac{\Delta h}{\Delta t}$ .
- Прodelайте аналогичные измерения для нескольких значений уровня  $h_1$ , различающихся примерно на 3—4 см. Продумайте шаблон таблицы и результаты измерений и вычислений занесите в полученную таблицу.
- Используя полученные данные, постройте график зависимости скорости  $v$  от высоты уровня  $h$ .
- Сделайте выводы.

**Примечание:** диаметр отверстия в сосуде должен быть таким, чтобы время вытекания  $\Delta t$  не было слишком малым, а струя не прерывалась.

### ИЗУЧАЕМ ВОЗДУШНЫЙ ШАРИК

КЕЙС

Когда мы надуваем воздушный шарик, то обычно не задумываемся о том, насколько велико при этом давление воздуха, которое устанавливается внутри него. Действительно, под воздействием сил упругости со стороны оболочки воздух внутри шарика всегда сжат, и если горлышко шарика освободить, то весь воздух из него выйдет наружу.

Используя известные в физике газовые законы, которые вы будете изучать в старших классах, а также зная объём шарика, массу и температуру воздуха в нём, можно легко ответить на поставленный выше вопрос. Но интересно найти такой метод решения этой задачи, который будет основываться только на понятии давления как физической величины.

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ СПРАВКА.** При решении целого ряда математических и физических задач часто используется *метод интерполяции*. Интерполяция — это способ нахождения промежуточных (неизвестных) значений некоторой величины по имеющемуся набору её известных значений. В физике наиболее простым методом является линейная интерполяция, когда предполагается, что интересующее нас значение физической величины лежит на прямой, проходящей через точки на графике, которые соответствуют известным значениям этой величины.

### ПОМОЩНИК

- В качестве оборудования и материалов вам потребуются: небольшой круглый воздушный шарик; маркер, оставляющий жирный след на поверхности шарика, набор грузиков известной массы, миллиметровая бумага, линейка, лёгкая крышечка, нить.
- Надуваем воздушный шарик так, чтобы он принял форму шара. Нитью надёжно завязываем горлышко шарика. Не следует надувать шарик сильно, его диаметр не должен превышать 10—12 см.
- Лёгкая пластмассовая крышечка используется в качестве платформы, на которую помещаются грузики. При этом массами крышечки и оболочки шарика пренебрегаем по сравнению с массами грузиков.
- Центр платформы и центр области контакта шарика с плоскостью должны находиться на одной вертикали.
- На нижнюю часть поверхности шарика, которая будет являться зоной его контакта с миллиметровкой, с помощью маркера наносим слой красящего вещества.
- На платформу осторожно помещаем грузик массой  $m$  и оцениваем площадь  $S_1$  контакта шарика с миллиметровкой.



- Условие равновесия системы запишем в виде  $p_1 S_1 = mg$ , где  $p_1$  — результирующее давление воздуха в шарике с учётом внешней нагрузки.
- На платформу помещаем дополнительный грузик такой же массы и оцениваем площадь  $S_2$  контакта шарика с миллиметровкой. В этом случае условие равновесия запишется в виде  $p_2 S_2 = 2mg$ .
- Повторяем опыты 4—5 раз, последовательно увеличивая вес нагрузки.
- Результаты измерений и вычислений заносим в таблицу в своей тетради.

$m$ , кг	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$S$ , см <sup>2</sup>					
$p$ , кПа					

- Строим на миллиметровке график зависимости давления  $p$  от массы  $m$  нагрузки.
- Проверяем, насколько близко экспериментальные точки ложатся на прямую, проведённую между этими точками.
- Если уровень согласия является удовлетворительным, то применяем *метод интерполяции*, продолжив прямую линию до её пересечения с осью ординат. Математически это соответствует ситуации, когда масса нагрузки устремляется к нулю. Полученное значение давления и будет являться оценкой первоначального давления воздуха внутри шарика.

#### Примечания:

1. При помещении грузиков на платформу шарик необходимо поддерживать с боков, чтобы исключить возможность его перекатывания по миллиметровке.
2. При аккуратном проведении опыта форма области контакта шарика с поверхностью должна быть близка к форме круга.
3. Для каждого нового измерения процедура нанесения слоя красящего вещества должна повторяться заново.

### 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?

### Темы исследовательских и проектных работ

- Использование давления газа в технических устройствах.
- Покорение глубин.
- История акваланга.
- Как опуститься в Марианскую впадину.
- Сообщающиеся сосуды в природе.
- Принцип сообщающихся сосудов в технике.
- История водопровода.

# Глава 6

## АТМОСФЕРА И АТМОСФЕРНОЕ ДАВЛЕНИЕ



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.

*Б. Паскаль*

## § 56 ВЕС ВОЗДУХА. АТМОСФЕРНОЕ ДАВЛЕНИЕ

### НОВОЕ В УРОКЕ

- Как определить плотность и вес воздуха.
- Что такое атмосферное давление.
- Что такое атмосфера Земли.

### ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Как происходит передача давления в газах?
- Как формулируется закон 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 называется **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.

### ИССЛЕДОВАНИЕ

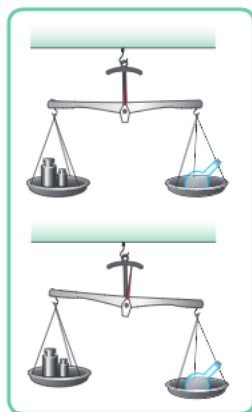
Для проведения данного опыта необходимы чувствительные весы и колба, из которой при помощи насоса выкачан воздух. Проведём два взвешивания. При первом определяется вес колбы без воздуха. Второе взвешивание проводится после того, как в колбу впускается воздух. Оказывается, что колба с воздухом весит больше.

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

Вычислим вес этого воздуха:

$$P = mg,$$

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



### ЭТО ИНТЕРЕСНО

Масса воздуха, проходящего при дыхании через лёгкие человека, составляет  $20\text{--}30 \text{ кг}$  за сутки. Воздух в небольшой комнате имеет массу  $30\text{--}40 \text{ кг}$ . А в вагонах пассажирского поезда находится воздух массой примерно  $2 \text{ т}$ .

#### Масса воздуха

проходящего при дыхании через лёгкие человека	→	<b>20—30 кг за сутки</b>
в небольшой комнате	→	<b>30—40 кг</b>
в вагонах пассажирского поезда	→	<b>2 т</b>

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

Учитывая, что  $\rho = \frac{m}{V}$ , получим  $\rho = \frac{1,29 \text{ кг}}{1 \text{ м}^3} = 1,29 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  при 0 °С.

**АТМОСФЕРНОЕ ДАВЛЕНИЕ.** Как показали наблюдения из космоса, атмосфера простирается на высоту более чем 1500 км от поверхности Земли. Масса всей атмосферы составляет около  $5 \cdot 10^{18}$  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.

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.

Из-за быстрого убывания плотности атмосферы почти вся её масса содержится в нижних слоях — *тропосфере* и *стратосфере*.

Почему же наша планета сохраняет свою атмосферу? На молекулы газов, составляющих атмосферу Земли, действует сила тяжести, которая притягивает их к Земле и не позволяет улететь в космическое пространство. Кроме того, молекулы газов находятся в непрерывном и беспорядочном движении и поэтому не падают на Землю.

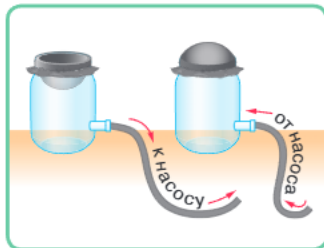
**ЭТО ИНТЕРЕСНО**

Свою атмосферу имеет не только Земля, но и другие массивные планеты и спутники. Однако Меркурий, Луна, спутники Марса, астероиды и другие малые небесные тела из-за малой силы тяготения не могут удерживать молекулы газов и имеют очень разреженную атмосферу или не имеют её вовсе.

**ПОЧЕМУ МЫ НЕ ОЩУЩАЕМ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ?** Для ответа на этот вопрос рассмотрим опыт.

**ИССЛЕДОВАНИЕ**

Возьмём стеклянную банку и затянем её горлышко тонкой резиновой плёнкой. На плёнку снаружи действует сила, обусловленная атмосферным давлением воздуха, однако плёнка совершенно не изгибается. 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.

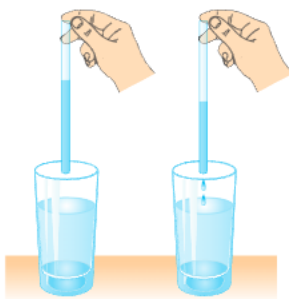
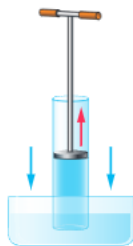


Если откачать часть воздуха из банки, уменьшив этим его давление, то плёнка прогнётся внутрь банки. Плёнка прогибается настолько, что возникшие в ней упругие силы вместе с силой давления воздуха в банке уравнивают силу давления внешнего воздуха.

Если, наоборот, накачать в банку воздух, то плёнка выгнется наружу. Плёнка выгибается настолько, что возникшие в ней упругие силы так же уравнивают силу давления внешнего воздуха.



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.



**ВЛИЯНИЕ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ НА ФИЗИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ.** Существование атмосферного давления является причиной многих явлений, которые мы встречаем в жизни.

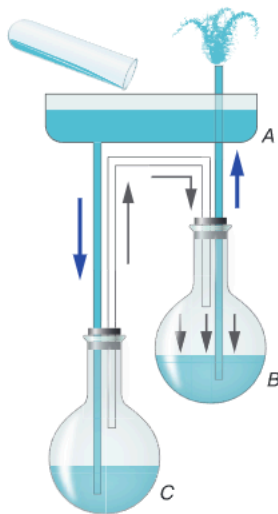
Рассмотрим такой пример. В сосуд с водой опустим стеклянную трубку с поршнем. Если поднимать поршень, то за ним будет подниматься и вода. Почему это происходит? При подъёме поршня между ним и водой образуется безвоздушное пространство. В это пространство под давлением наружного воздуха и поднимается 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:  $p = p_0 - \rho gh$ ). Снизу же на столбик воды действует давление воздуха, равное атмосферному. Именно поэтому вода из трубки не вытекает.

**ФОНТАН ГЕРОНА АЛЕКСАНДРИЙСКОГО.** Классическим примером влияния атмосферного давления на физические явления может служить принцип работы фонтана. Создание конструкции фонтана относится к античным временам и приписывается Герону Александрийскому (I в. н. э.). Фонтан Герона состоит из трёх сосудов: одного открытого в виде чаши (сосуд *A*) и двух закрытых шарообразных (сосуды *B* и *C*). Сосуды соединяются между собой с помощью тонких трубок. При этом трубки, соединяющие сосуд *A* с сосудами *B* и *C*, заполняются водой, а трубка, соединяющая сосуды *B* и *C*, является воздушной.

Если сосуд *B* частично наполнить водой и налить некоторое количество воды в сосуд *A*, то устройство начнёт действовать. Вода, поступающая из сосуда *A* в сосуд *C*, будет вытеснять из него воздух в сосуд *B*, создавая в нём давление, избыточное по отношению к атмосферному. В результате из трубки, соединяющей сосуды *A* и *B*, начнёт бить фонтаном вода.



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.

#### ВЫВОДЫ

Масса воздуха; атмосфера Земли; атмосферное давление

#### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

#### И ВОПРОСЫ ЗАДАНИЯ

1. Что представляет собой атмосфера Земли?
2. Как создаётся атмосферное давление?
3. Объясните, почему Луна и астероиды не имеют собственной атмосферы.
4. Приведите примеры явлений, объясняемых существованием атмосферного давления.
5. Объясните, почему при непрерывном потягивании через трубочку сока из пакета стенки пакета вдавливаются внутрь.
6. Почему приходится прилагать большое усилие, вытаскивая ногу, увязшую в глине или топком болотистом грунте?
7. Почему пассажирские самолёты на маршрутах дальней и средней протяжённости совершают перелёты на высотах порядка 10 км? Зачем корпуса таких самолётов делают герметичными?

## § 57 ИЗМЕРЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ. ОПЫТ ТОРРИЧЕЛЛИ

### НОВОЕ В УРОКЕ

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

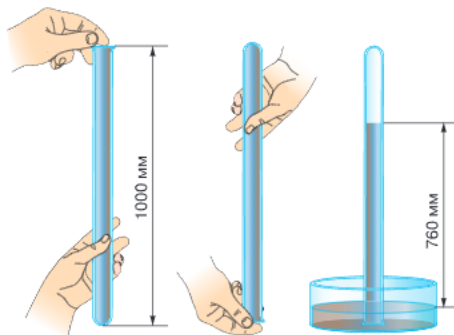
### ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое атмосфера?
- Что такое атмосферное давление?

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 Э. Торричелли.

**ОПЫТ ТОРРИЧЕЛЛИ.** Э. Торричелли использовал стеклянную трубку длиной около 1 м, запаянную с одного конца и заполненную ртутью. Закрыв открытый конец трубки, он перевернул её и опустил в чашку с ртутью. После того как он открыл нижний 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 в 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.



**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, приделанный к одному из полушарий, из составленного шара был выкачан воздух. Давление наружного воздуха прижало полушария друг к другу настолько сильно, что их не могли разнять восемь пар лошадей.



#### ЭТО ИНТЕРЕСНО

Утверждение древнегреческого учёного Аристотеля о том, что «природа не терпит пустоты», до середины XVII в. никто не мог оспорить. Считалось, например, что вода поднимается за поршнем насоса именно по этой причине. Но при строительстве фонтанов во Флоренции обнаружилось, что при помощи насосов не получается поднять воду на высоту, превышающую 10 м. За решением обратились к Галилею, который предложил своим ученикам Торричелли и Вивиани попробовать разобраться в этой проблеме. Учёные от опытов с водой перешли к опытам с ртутью и выдвинули предположение, что причина рассматриваемого явления — наличие давления атмосферы.

В 1646 г. до французского г. Руана (где в то время жила семья Паскалей) докатилась молва об удивительных итальянских опытах с пустотой. Б. Паскаль повторил их, экспериментируя не только с ртутью, но и с водой, маслом, красным вином, для чего ему потребовались бочки вместо чашек и трубки длиной около 15 м.

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.

**НОРМАЛЬНОЕ АТМОСФЕРНОЕ ДАВЛЕНИЕ.** 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.

Значение атмосферного давления, равное давлению столба ртути высотой 760 мм при температуре 0 °С, называется нормальным атмосферным давлением.

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

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

Итак, 1 мм рт. ст.  $\approx$  133,3 Па.

На практике также используют специальную единицу давления — *атмосферу*. (1 атм  $\approx$  10<sup>5</sup> Па.)

**ЗАВИСИМОСТЬ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ ОТ ВЫСОТЫ.** Атмосферное давление уменьшается с высотой: чем выше мы поднимаемся над поверхностью Земли, тем меньше толщина воздушного слоя, который оказывает давление. Кроме того, с увеличением высоты уменьшается и плотность воздуха. Следовательно, вес воздуха на большой высоте меньше, чем у поверхности, значит, меньше и атмосферное давление.

На относительно небольших высотах (до 2—3 км) можно пренебречь изменением плотности с высотой, считая её постоянной. Опытными установлено, что при подъёме в среднем на каждые 12 м давление уменьшается на 1 мм рт. ст.

На больших высотах атмосферное давление уменьшается медленнее, чем у поверхности. Например, на вершине горы Эверест, которая является самой высокой горой на Земле, давление воздуха составляет лишь около одной трети давления на уровне моря.





На зависимости атмосферного давления от высоты основан принцип действия барометрического *высотомера*, или *альтиметра*, его шкала проградуирована в метрах. Точность измерения барометрических высотометров не превышает 10 м. Метод определения высоты холмов и гор по изменению атмосферного давления использовался с XVIII в. для составления карт местности.

**ИЗМЕНЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ.** Многолетние наблюдения показали, что атмосферное давление незначительно изменяется в течение суток. Эти изменения давления связаны с изменениями плотности и температуры воздуха и наиболее сильно проявляются возле экватора.

Однако резкие изменения атмосферного давления свидетельствуют о скором изменении погодных условий. В атмосфере постоянно происходят движения воздушных масс от областей с высоким давлением в области с низким давлением. Именно так образуется *ветер*.

Резкое уменьшение атмосферного давления связано с приближением *циклона* (так называют области низкого давления). В центре циклона давление воздуха ниже, чем у его краёв. Поэтому воздух у поверхности земли движется из областей с более высоким давлением к центру циклона, а затем поднимается вверх, образуя облака. Именно поэтому циклоны несут с собой облачную погоду с осадками и ветром.

Резкое увеличение атмосферного давления связано с приближением *антициклона* (области высокого давления). В этом случае летом наступает жаркая, безветренная и малооблачная погода, а зимой — ясная и морозная погода.

! Значение атмосферного давления, равное давлению столба ртути высотой 760 мм при температуре 0 °С, называется нормальным атмосферным давлением.

! На практике используют специальные единицы давления — миллиметры ртутного столба и атмосферы.

**ВЫВОДЫ**

Измерение атмосферного давления; нормальное атмосферное давление; магдебургские полушария; высотометр

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА**

**И ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ**

1. Почему нельзя рассчитывать давление воздуха так же, как рассчитывают давление жидкости на дно и стенки сосуда?
2. Что означает запись: «Атмосферное давление равно 760 мм рт. ст.»?
3. Можно ли опыт Торричелли осуществить на борту орбитальной космической станции? Ответ обоснуйте.
4. Как изменяется атмосферное давление при спускании в глубокую шахту?
5. Зависит ли высота столбика ртути в опыте Торричелли от диаметра отверстия трубки; угла наклона трубки; значения атмосферного давления? Ответ обоснуйте.
6. Что произойдёт, если в трубке Торричелли сделать отверстие в стенке трубки выше уровня ртути; ниже уровня ртути?

## § 58 ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ

### НОВОЕ В УРОКЕ

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

### ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

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

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

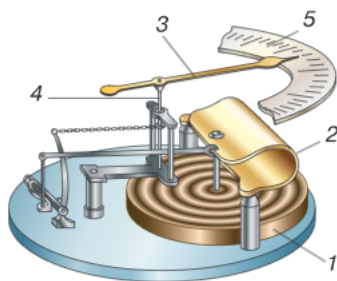
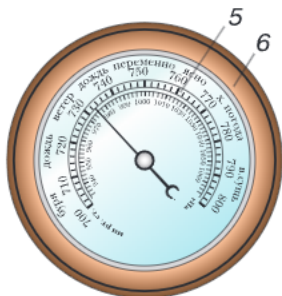


**РТУТНЫЙ БАРОМЕТР.** Если к трубке с ртутью, использованной в опыте Торричелли, прикрепить вертикальную шкалу, то получится простейший прибор — ртутный барометр. Это жидкостный барометр, в котором атмосферное давление измеряется по высоте столба ртути в запаянной сверху трубке, опущенной открытым концом 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 (в переводе с греческого — безжидкостный). Он не содержит ртути.

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 внутри корпуса 6, закрытого стеклом.



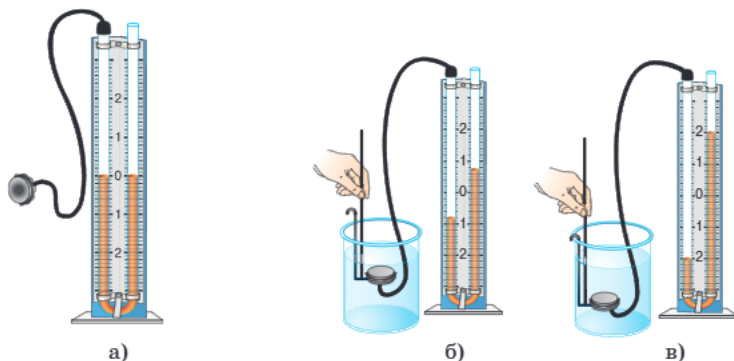
Барометры-анероиды менее надёжны, чем ртутные. Однако они гораздо более удобны в обращении, поэтому получили широкое распространение в тех случаях, когда не требуется большой точности.

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

Жидкостный манометр может измерять давление много меньшее, чем атмосферное. Он состоит из двухколенной стеклянной трубки, в которую налита какая-нибудь жидкость (рис. а). 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, плоскую коробочку, затянутую резиновой мембраной, и пластиковую трубочку, соединяющую эту коробочку с коленом манометра.

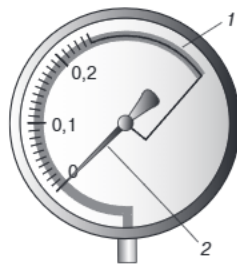


Если поместить коробочку в сосуд с водой, то столб жидкости будет оказывать давление на мембрану, что приведёт к сжатию воздуха, находящегося в коробочке и соединительной трубке (рис. б и в).

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 2 манометра.

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



**ИЗМЕРЕНИЕ КРОВЯНОГО ДАВЛЕНИЯ.** Давление, которое оказывает кровь на стенки кровеносных сосудов, называется **кровяным** или **артериальным** давлением. Значение артериального давления показывает, насколько давление крови в кровеносной системе превышает значение атмосферного давления. Давление крови изменяется при каждом цикле работы сердца: при сокращении сердца оно увеличивается, а при расслаблении — уменьшается. При этом максимальное давление (в течение одного сердцебиения) называют *систолическим*, а минимальное — *диастолическим*. Нормальное кровяное давление у взрослого человека в состоянии покоя составляет примерно 120 мм рт. ст. (систолическое) и 80 мм рт. ст. (диастолическое). Записывают его обычно как 120/80.

В современной медицине для определения кровяного давления используется метод, предложенный в 1905 г. российским врачом Николаем Сергеевичем Коротковым. Он связан с прослушиванием с помощью *стетоскопа* звуков, которые появляются при прохождении крови через суженную артерию.



Для измерения артериального давления *методом Короткова* используются механические и электронные тонометры. *Механический тонометр* состоит из полой резиновой манжеты, нагнетателя воздуха (груши) и манометра. Манжету надевают на руку пациента и с помощью груши накачивают в неё воздух. Когда давление воздуха в манжете станет больше, чем давление крови, ток крови через артерию приостановится. В этот момент постепенно выпускают воздух из манжеты, снижая давление воздуха в ней. При этом, когда кровь начинает идти через суженную артерию, через стетоскоп можно услышать пульс. Первый удар пульса указывает на систолическое (верхнее) давление, а прекращение ударов пульса — на диастолическое (нижнее) давление.

В *электронных тонометрах* компрессор накачивает воздух в манжету, затем прибор спускает воздух, по ударам пульса фиксирует верхнее и нижнее давление и выводит его на экран.

#### Выводы

- ! Прибор для измерения атмосферного давления — барометр.
- ! Для измерения давления жидкости или газа используют манометры.
- ! Для измерения давления крови используются тонометры.

#### Ключевые слова

Ртутный барометр; барометр-анероид; манометр; кровяное давление; тонометр

#### Вопросы и задания

1. Для чего используют барометр-анероид?
2. Почему в открытом манометре уровни однородной жидкости в обоих коленах одинаковы?
3. В каких единицах измеряют кровяное давление?
4. Можно ли ртутный барометр использовать в условиях невесомости, например на борту космической станции?

# РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ § 59

- **ЗАДАЧА 1.** Оцените примерную высоту столба воздуха над уровнем моря, считая, что плотность воздуха равна  $1,29 \text{ кг/м}^3$  и не изменяется с высотой. Атмосферное давление примите равным  $101,3 \text{ кПа}$ .

Дано:  
 $p = 101,3 \text{ кПа}$   
 $\rho = 1,29 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$   


---

 $h$  — ?

СИ  
 $101\ 300 \text{ Па}$

Решение.  
 Высоту столба воздуха найдём из формулы  
 $p = \rho gh$ .

$$h = \frac{p}{\rho g}; \quad h = \frac{101\ 300 \text{ Па}}{1,29 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}} \approx 8 \text{ км.}$$

Ответ: 8 км.

- **ЗАДАЧА 2.** Считая атмосферное давление нормальным, оцените силу, с которой воздух оказывает давление на тетрадный лист размером  $148 \times 210 \text{ мм}^2$ .

Дано:  
 $a = 148 \text{ мм}$   
 $b = 210 \text{ мм}$   
 $p = 760 \text{ мм рт. ст.}$   


---

 $F$  — ?

СИ  
 $0,148 \text{ м}$   
 $0,21 \text{ м}$

Решение.  
 $F = pS$ , где  $S = ab$ .  
 Тогда  $F = pab$ .  
 Выразим нормальное атмосферное давление в паскалях:  
 $p = 760 \text{ мм рт. ст.} = 760 \cdot 133,3 \text{ Па} =$   
 $= 101\ 300 \text{ Па}$ .  
 $F = 101\ 300 \text{ Па} \cdot 0,148 \text{ м} \cdot 0,21 \text{ м} =$   
 $= 3148 \text{ Н}$ .

Ответ: 3148 Н.

- **ЗАДАЧА 3.** Ртутный барометр показывает давление  $750 \text{ мм рт. ст.}$  Какова была бы высота столба в барометре, трубка которого содержала бы воду? Плотность ртути  $13\ 600 \text{ кг/м}^3$ , плотность воды  $1000 \text{ кг/м}^3$ .

Дано:  
 $p = 750 \text{ мм рт. ст.}$   
 $h_{\text{рт}} = 750 \text{ мм}$   
 $\rho_{\text{рт}} = 13\ 600 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$   
 $\rho_{\text{в}} = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$   


---

 $h_{\text{в}}$  — ?

СИ  
 $0,75 \text{ м}$

Решение.  
 Гидростатическое давление столба ртути высотой  $h_{\text{рт}}$  равно атмосферному давлению:  
 $p = \rho_{\text{рт}} g h_{\text{рт}}$ .  
 При использовании в барометре воды атмосферное давление будет равно гидростатическому давлению столба воды высотой  $h_{\text{в}}$ :  
 $p = \rho_{\text{в}} g h_{\text{в}}$ .

Тогда  $\rho_{\text{рт}} g h_{\text{рт}} = \rho_{\text{в}} g h_{\text{в}}$ , откуда получаем

$$h_{\text{в}} = h_{\text{рт}} \cdot \frac{\rho_{\text{рт}}}{\rho_{\text{в}}}$$

$$h_{\text{в}} = 0,75 \text{ м} \cdot \frac{13\ 600 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}}{1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} \approx 10,2 \text{ м.}$$

Ответ: 10,2 м.

- **ЗАДАЧА 4.** Давление газа измеряют с помощью U-образной стеклянной трубки с ртутью. Разность уровней ртути в трубках составляет 85 мм. Определите давление газа в случаях, если правый конец трубки: закрыт; открыт. Плотность ртути  $13\,600\text{ кг/м}^3$ . Атмосферное давление примите равным  $101,3\text{ кПа}$ .

Дано:  
 $h = 85\text{ мм}$   
 $p = 101,3\text{ кПа}$   
 $\rho = 13\,600\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

СИ  
 $0,085\text{ м}$

Решение.

Если правый конец трубки закрыт и над ртутью нет воздуха, то давление газа уравнивается давлением столба ртути высотой  $h$ :  $p_1 = \rho gh$ .

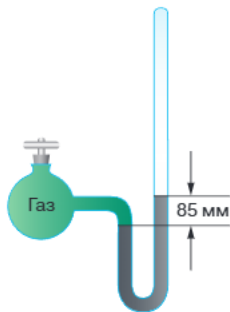
$$p_1 = 13\,600\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9,8\frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 0,085\text{ м} \approx 11,3\text{ кПа}.$$

Если правый конец трубки открыт, то давление газа равно сумме давления столба ртути высотой  $h$  и атмосферного давления:

$$p_2 = \rho gh + p = p_1 + p;$$

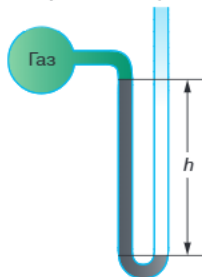
$$p_2 = 11,3\text{ кПа} + 101,3\text{ кПа} = 112,3\text{ кПа}.$$

Ответ:  $11,3\text{ кПа}$ ;  $112,3\text{ кПа}$ .



### Задачи для самостоятельного решения

- 1 Выразите атмосферное давление  $740\text{ мм рт. ст.}$  в метрах водяного столба (м вод. ст.) и в паскалях. Плотность ртути  $13\,600\text{ кг/м}^3$ , плотность воды  $1000\text{ кг/м}^3$ .
- 2 Выразите атмосферное давление  $100\text{ кПа}$  в мм рт. ст.
- 3 стакан, до краёв наполненный водой, накрывают листом бумаги и переворачивают. При этом вода не выливается из стакана. С какой силой воздух действует на лист бумаги, если площадь листа, ограниченная краями стакана, равна  $80\text{ см}^2$ ? Атмосферное давление нормальное.
- 4 При нормальном атмосферном давлении вода за поршнем всасывающего насоса поднимается на высоту не более  $10,3\text{ м}$ . На какую высоту при тех же условиях поднимается за поршнем нефть? Плотность нефти  $800\text{ кг/м}^3$ .
- 5 Давление газа измеряют с помощью U-образной стеклянной трубки с ртутью. Разность уровней ртути в трубках составляет  $580\text{ мм}$ . Определите давление газа, если правый конец трубки открыт. Плотность ртути  $13\,600\text{ кг/м}^3$ . Атмосферное давление примите равным  $101,3\text{ кПа}$ .
- 6 Оцените глубину шахты, если на её дне барометр показывает  $787\text{ мм рт. ст.}$ , а на поверхности земли —  $758\text{ мм рт. ст.}$



## Практическая работа-исследование

### Изготовление «баночного» барометра

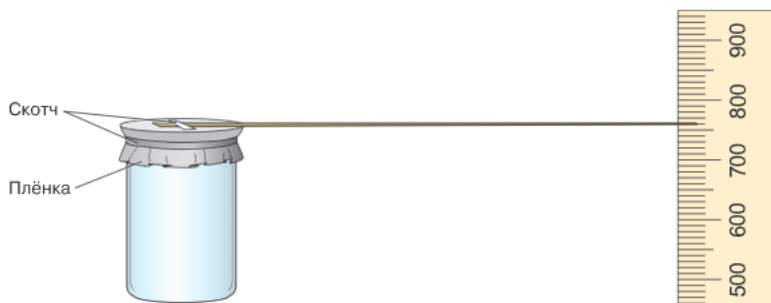
Атмосферное давление изменяется со временем по ряду причин. Наблюдая за изменением атмосферного давления, можно предсказать, какая погода ожидает нас в ближайшее время.

#### Цель работы

Изготовить «баночный» барометр, наблюдать за изменением атмосферного давления и предсказывать изменение погодных условий.

#### ПОМОЩНИК

- В качестве оборудования можно использовать тонкую резиновую плёнку (например, от воздушного шарика), стеклянную банку, скотч, длинную деревянную шпажку или пластиковую соломинку, картон, миллиметровую бумагу, барометр-анероид.
- Тонкую резиновую плёнку натяните на горлышко стеклянной банки и закрепите её с помощью скотча. Плёнка должна герметично закрывать банку. Натянутая плёнка будет играть роль упругой мембраны.
- Деревянную шпажку или пластиковую соломинку закрепите с помощью скотча на поверхности плёнки. Она будет играть роль стрелки.



- Наклейте миллиметровую бумагу на картон и установите её у конца стрелки. На миллиметровой бумаге нарисуйте шкалу. Для проведения реальных измерений шкалу можно проградуировать при помощи школьного барометра-анероида. Для этого сопоставляйте показания школьного барометра-анероида с положениями стрелки созданного барометра и отмечайте на его шкале соответствующие значения атмосферного давления.
- Оформите в тетради таблицу и заносите в неё дату, измеренное значение атмосферного давления, а также погодные условия (ясно или пасмурно) в течение нескольких дней.
- На основании наблюдений попробуйте сделать прогноз погоды.
- Сделайте вывод. Объясните принцип действия изготовленного барометра.

**Примечание:** при помощи изготовленного барометра можно зафиксировать лишь значительное изменение давления.

### ПАРАДОКСЫ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ

#### КЕЙС

Учитель на уроке физики, рассказывая о природе давления газов, отметил, что газ, находящийся в сосуде, всегда сжат. Это можно обнаружить на основе простого опыта по надуванию воздушного шарика. Если освободить трубку, через которую был надут шарик, то под воздействием сил упругости со стороны растянутой резиновой оболочки весь избыточный объём воздуха выйдет наружу. Вместе с тем процесс истекания воздуха из шарика зависит от условий проведения опыта. Чтобы более подробно разобраться с указанным явлением, учитель поручил ученикам изготовить устройство, при помощи которого шарик будет оставаться в надутом состоянии даже в случае, когда он сообщается с атмосферой.

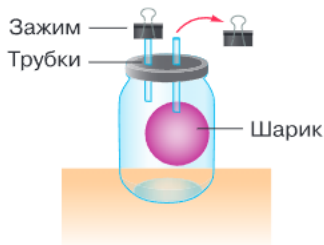
Попробуйте и вы сконструировать подобное устройство, используя самое простое оборудование.

#### Упражнение 1. Опыты с воздушным шариком

В качестве оборудования вам потребуются воздушный шарик; 2- или 3-литровая стеклянная банка, плотно закрывающаяся полиэтиленовой крышкой; 2 мягкие пластиковые трубки длиной 10—15 см и диаметром 5—7 мм; 2 канцелярских зажима; пластилин; нить.

#### Этапы выполнения задания

- В крышке аккуратно проделайте два отверстия, в которые вставьте обе трубки. Для герметизации используйте пластилин.
- С помощью нити надёжно прикрепите к нижнему концу одной из трубок горлышко воздушного шарика.
- Поместив ненадутый шарик в банку, закройте её крышкой.
- Через трубку надуйте шарик так, чтобы его диаметр был несколько меньше диаметра банки.
- С помощью зажима закройте верхний конец трубки, соединённой с шариком.
- С помощью второго зажима закройте верхний конец второй трубки.
- Снимите зажим с трубки, соединённой с воздушным шариком.
- Объясните наблюдаемое явление и сделайте выводы.



**Примечание:** если в опыте используются трубки с жёсткими стенками, то вместо зажимов можно использовать пластилиновые пробочки.

#### Упражнение 2. Опыты с мыльным пузырём

Постановка задачи несколько необычна, но представляет интерес. Можно проделать аналогичные опыты с мыльным пузырём. Для этих целей лучше использовать литровую банку, на дно которой налито небольшое

количество воды. Банка должна быть закрыта крышкой со вставленными трубочками примерно за полчаса до начала опыта.

В качестве дополнительного оборудования вам потребуются: вода, мыльный раствор (например, на основе шампуня), глицерин.

#### Этапы выполнения задания

- Как показывают наблюдения, время жизни мыльного пузыря существенно зависит от влажности воздуха. Поэтому указанного выше времени достаточно для образования внутри банки необходимого количества паров воды.
- Для получения долгоживущих мыльных пузырей в мыльный раствор нужно добавить небольшое количество глицерина.
- Крышку со вставленными трубочками следует быстро снять с банки и в длинную трубочку, проходящую через центр крышки, набрать небольшое количество мыльного раствора.
- Крышку аккуратно, без встряски, надеть на банку и сразу же выдуть мыльный пузырь.
- Далее последовательность действий такая же, как и в опыте с воздушным шариком.
- Объясните наблюдаемое явление. Имеются ли какие-либо особенности в поведении мыльного пузыря по сравнению с опытом с воздушным шариком?

## 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, называется нормальным атмосферным давлением.
- На практике используют специальные единицы давления — миллиметры ртутного столба и атмосферы.
- Приборы для измерения атмосферного давления называются барометрами.
- Для измерения давления жидкости или газа используют приборы, которые называются манометрами.

### 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?

### Темы исследовательских и проектных работ

- Атмосферное давление и здоровье человека.
- Атмосфера на других планетах.
- История барометра.
- От чего зависит атмосферное давление.
- Загадки атмосферы.
- Человек и атмосфера.
- Атмосферное давление в технических устройствах.
- Влияние атмосферного давления на окружающую среду.
- Измерение кровяного давления.

# Глава 7

## ЗАКОН АРХИМЕДА. ПЛАВАНИЕ ТЕЛ

...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*



# § 61 ДЕЙСТВИЕ ЖИДКОСТИ НА ПОГРУЖЁННОЕ В НЕЁ ТЕЛО

## НОВОЕ В УРОКЕ

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

## ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Какое давление называется 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 убрать руку, как вода вытолкнет пробку на поверхность. Но так происходит не со всеми телами. Не зря существуют выражения: «плавает как пробка» и «камнем 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.

## ИССЛЕДОВАНИЕ

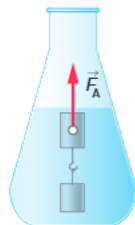
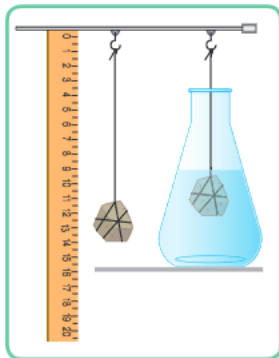
Подвесим камень на тонкой резинке и измерим её длину. Затем опустим камень, подвешенный на резинке, в сосуд с водой и измерим длину резинки в этом положении. Она стала короче.

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 открыл и обосновал её существование.

**КУДА НАПРАВЛЕНА ВЫТАЛКИВАЮЩАЯ СИЛА.** Легко догадаться, что эта сила направлена вертикально вверх.

Привяжем короткой нитью к пробке такой груз, чтобы она погрузилась в воду. Отвесно натянутая нить показывает, что выталкивающая сила, которая действует на пробку, направлена вертикально вверх, в сторону, противоположную действию силы тяжести.



ЭТО ИНТЕРЕСНО

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.

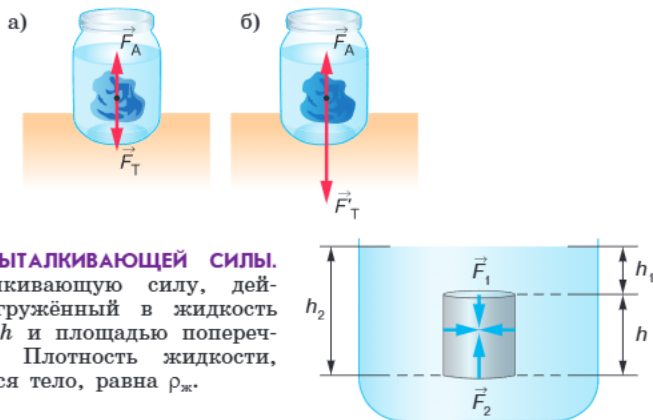
**ПРИНЦИП ОТВЕРДЕВАНИЯ.** В конце XVI в. голландский физик и математик С. Стевин предложил мысленный эксперимент. Представим себе, что часть жидкости, налитой в сосуд, затвердела, но её масса осталась неизменной. Равновесие в сосуде не нарушилось. Значит, направленная вверх выталкивающая сила  $\vec{F}_A$  равна силе тяжести, действующей на рассматриваемую часть жидкости. При этом вес  $\vec{P}$  этой части жидкости представляет собой силу её воздействия на все ниже расположенные слои жидкости и численно равен выталкивающей силе (рис. а).

Мысленно заменим затвердевший объём жидкости на твёрдое тело точно такой же формы (рис. б). В этом случае масса и вес этого твёрдого тела могут отличаться от массы и веса удалённой жидкости.

Если плотность тела больше плотности жидкости, то тело опустится на дно. В этом случае на тело со стороны дна сосуда будет действовать упругая сила реакции опоры, численно равная весу тела в жидкости.

С точки зрения воздействия жидкости на помещённое в неё тело для жидкости ничего не меняется: жидкость будет оказывать давление на это тело с такой же силой, как раньше действовала на выделенный объём жидкости. Этот метод рассуждения получил название *принцип отвердевания*.

Приведённые рассуждения показывают, что на тело, полностью погружённое в жидкость, действует вертикально вверх выталкивающая сила, равная по модулю весу жидкости в объёме тела.



**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫТАЛКИВАЮЩЕЙ СИЛЫ.**

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

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

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

$$p_1 = \rho_{\text{ж}}gh_1.$$

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

$$F_1 = \rho_{\text{ж}}gh_1S.$$

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

$$p_2 = \rho_{\text{ж}}gh_2.$$

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

$$F_2 = \rho_{\text{ж}}gh_2S.$$

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

$$F_{\text{выт}} = F_2 - F_1,$$

$$F_{\text{выт}} = \rho_{\text{ж}}gh_2S - \rho_{\text{ж}}gh_1S,$$

$$F_{\text{выт}} = \rho_{\text{ж}}gS(h_2 - h_1) = \rho_{\text{ж}}gSh,$$

$$F_{\text{выт}} = \rho_{\text{ж}}gV. \quad (1)$$

#### ВАЖНО

Сила, выталкивающая тело из жидкости, называется **выталкивающей** или **архимедовой силой** и определяется по формуле

$$F_A = \rho_{\text{ж}}gV,$$

где  $\rho_{\text{ж}}$  — плотность жидкости,  $V$  — объём жидкости, вытесненной телом.

Выталкивающая сила направлена противоположно силе тяжести, приложенной к этому телу.

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

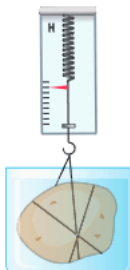
$$F_{\text{выт}} = m_{\text{ж}}g = P_{\text{ж}},$$

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 тело 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.**



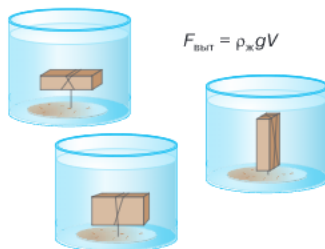
Если же погрузить одинаковые тела в жидкости, различающиеся плотностью (например, воду и керосин), то по изменениям показаний динамометра можно сделать вывод, что **выталкивающая сила зависит от плотности жидкости: чем больше плотность, тем больше выталкивающая сила.**

**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.**

Если погрузить в воду тело, имеющее, например, форму прямоугольного параллелепипеда (см. рисунок), то **значение выталкивающей силы не будет зависеть от того, в каком положении тело находится под водой.**



- ! 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.

**ВЫВОДЫ**

**Архимедова (выталкивающая) сила; принцип отвердевания**

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА**

**ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ**

1. Какие примеры явлений, указывающие на существование выталкивающей силы, вы можете привести?
2. В воду погрузили тело, плотность которого равна плотности жидкости. Будет ли на тело действовать выталкивающая сила? Ответ обоснуйте.
3. Почему при ловле рыбы она кажется тяжелее, когда её поднимают над поверхностью воды?
4. На крючке динамометра висит ведёрко. Изменится ли показание динамометра, если ведёрко наполнить водой и полностью погрузить в воду?
5. Применим ли принцип отвердевания для тела, частично погружённого в воду?

## § 62 ЗАКОН АРХИМЕДА

### НОВОЕ В УРОКЕ

- Как формулируется закон Архимеда.

### ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

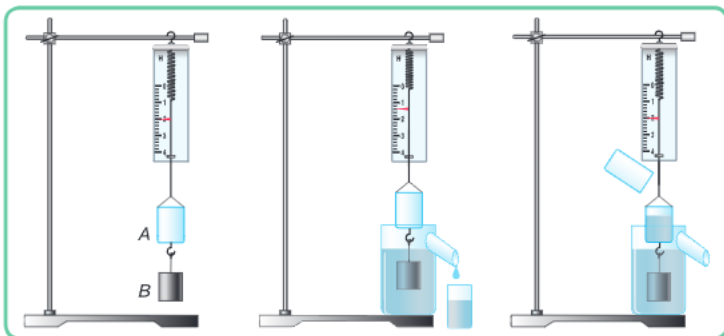
- Какую силу называют выталкивающей или архимедовой?
- Как определить архимедову силу?
- От чего зависит архимедова сила?
- От чего не зависит архимедова сила?

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

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ АРХИМЕДОВОЙ СИЛЫ ОПЫТНЫМ ПУТЁМ.** Проведем следующий опыт.

### ИССЛЕДОВАНИЕ

Пустое ведро  $A$  (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 ведро  $A$ , 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:  $F_A = P_{ж} = m_{ж}g$ .

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, выталкивающая сила  $F_A = \rho_{ж}gV_T$ .

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

$$P_1 = P - F_A = mg - m_{ж}g,$$

где  $m$  — масса тела, а  $m_{ж}$  — масса жидкости в объёме, равном объёму погружённого тела.

**Тело, находящееся в жидкости, теряет в своём весе столько, сколько весит жидкость в объёме, вытесненным телом.**

**ВАЖНО**

**Закон Архимеда.** На тело, погружённое в жидкость (или газ), действует выталкивающая сила, равная по модулю весу жидкости (или газа), вытесненной телом.

**ЭТО ИНТЕРЕСНО**

Существует *легенда* о том, что привело Архимеда к важному открытию.

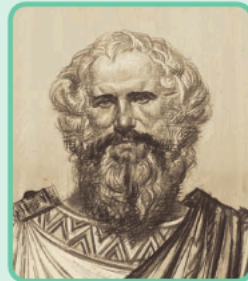
Гиерон, став царём Сиракуз, решил в благодарность за свои успехи принести в дар бессмертным богам золотую корону. Он заказал её мастеру и приказал выдать тому нужное количество золота. К назначенному сроку корона была готова. Но царю донесли, что вместо части золота мастер примешал такое же количество 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, 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 определённого 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, Архимед 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.



**Архимед**

(287—212 до н. э.)



Что произойдёт с уровнем воды в бассейне, если из лодки, плавающей в нём, выбросить в воду камень? Как пишет физик и популяризатор науки Дж. Уокер, автор книги «Физический фейерверк», даже некоторые известные учёные неверно отвечали на поставленный вопрос. Для решения этой задачи необходимо прежде всего понять, как изменится объём воды, вытесняемый камнем, в случае, когда камень находится в лодке и в случае, когда он лежит на дне бассейна. При этом ещё нужно учесть, что плотность камня больше плотности воды. Проведённый анализ в конечном итоге поможет получить правильный ответ.

Между тем существует простой способ решения подобных задач, а именно *метод «постановки на весы»*. Суть метода заключается в следующем. Представим себе, что бассейн вместе с лодкой поместили на платформу весов и уравнили. Когда выброшенный из лодки камень опустится на дно, вес бассейна со всем содержимым не изменится и равновесие весов сохранится. Следовательно, суммарная сила давления на дно бассейна не изменится. Но камень будет при этом оказывать дополнительное давление на дно бассейна по сравнению со случаем, когда он был в лодке. Поэтому давление воды на дно бассейна уменьшится на величину давления камня на дно. Это означает, что уровень воды в бассейне понизится.

**Вывод**

! Тело, находящееся в жидкости, теряет в своём весе столько, сколько весит жидкость в объёме, вытесненном телом.

**Ключевые слова**

Архимедова (выталкивающая) сила; закон Архимеда

**Вопросы и задания**

1. Где легче плавать: в пресном озере или в море? Обоснуйте свой ответ.
2. Будет ли выполняться закон Архимеда в состоянии невесомости? Обоснуйте свой ответ.
3. На блоке уравновешены два груза равного веса: алюминиевый и стальной. Как изменится равновесие, если оба груза опустить в воду? Ответ поясните.

# ПЛАВАНИЕ ТЕЛ § 63

## НОВОЕ В УРОКЕ

- Каковы условия плавания тел.
- Каковы особенности плавания животных и человека.

## ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- 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.

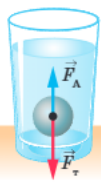
Когда тело всплывает и достигает поверхности жидкости, то при его дальнейшем движении вверх архимедова сила уменьшается, потому что уменьшается объём части тела, погружённого в жидкость. Тело будет продолжать движение вверх до тех пор, пока сила тяжести и архимедова сила не уравниваются. В этот момент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

## ВАЖНО

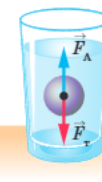
Тело всплывает, если сила тяжести  $F_T$  меньше архимедовой силы  $F_A$ . В этом случае плотность плавающего тела меньше плотности жидкости.

Если сила тяжести  $F_T$  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  $F_T$  больше архимедовой силы  $F_A$ . При этом плотность тела больше плотности жидкости.

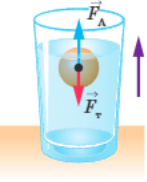
Тело тонет  
 $F_A < F_T$



Тело плавает  
 $F_A = F_T$



Тело всплывает  
 $F_A > F_T$



**ГЛУБИНА ПОГРУЖЕНИЯ ТЕЛ, ПЛАВАЮЩИХ НА ПОВЕРХНОСТИ ЖИДКОСТИ.**

Вы наверняка замечали, что различные плавающие тела погружаются на разную глубину. Например, пробка плавает на поверхности воды, тогда как кусочек льда плавает так, что над поверхностью воды находится лишь его небольшая часть.

Степень погружения плавающего тела в жидкость зависит от соотношения плотности жидкости  $\rho_{ж}$  и плотности тела  $\rho_{т}$ . Обозначим: объём тела —  $V_{т}$ , объём погружённой части тела —  $V_{п}$ , объём вытесненной телом жидкости —  $V_{ж}$ , массу тела —  $m_{т}$  и массу вытесненной телом жидкости —  $m_{ж}$ . Так как объём  $V_{п}$  погружённой части тела равен объёму  $V_{ж}$  вытесненной телом жидкости, можно записать:

$$\frac{V_{п}}{V_{т}} = \frac{V_{ж}}{V_{т}} = \frac{m_{ж}/\rho_{ж}}{m_{т}/\rho_{т}}$$

Из условия плавания тел ( $m_{т}g = \rho_{ж}V_{ж}g$ ) следует, что масса вытесненной телом жидкости равна массе тела:  $m_{ж} = m_{т}$ .

Таким образом, получаем:  $\frac{V_{п}}{V_{т}} = \frac{\rho_{т}}{\rho_{ж}}$ .

Если плотность плавающего тела лишь незначительно меньше плотности жидкости, тело почти полностью погружено в жидкость. Если же плотность тела значительно меньше плотности жидкости, то большая часть тела находится над поверхностью жидкости.

**Итак, чем меньше плотность тела по сравнению с плотностью жидкости, тем меньшая часть тела погружена в жидкость.**

На зависимости глубины погружения плавающего тела в жидкости от плотности жидкости основан принцип действия ареометра — прибора для измерения плотности жидкости. Для измерения плотности ареометр помещают в сосуд с жидкостью так, чтобы он свободно плавал в ней. Ареометр погружается в жидкость тем глубже, чем меньше плотность жидкости.



Айсберг

**ПЛАВАНИЕ РЫБ.** 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.

Различают *активное* плавание и *пассивное*. При пассивном плавании движение животного происходит за счёт течений. При активном плавании животные передвигаются либо с помощью гребных органов (плавники, лапы), либо посредством волнообразных изгибаний тела (киты, змеи, пиявки), либо в результате периодических выталкиваний воды (медузы, каракатицы, осьминоги).

Плывать и удерживаться на определённой глубине рыбам помогает плавательный пузырь. При нахождении в равновесии в воде вес вытесняемой рыбой воды равен весу самой рыбы. Когда рыба с помощью









плавников погружается на большую глубину, внешнее давление со стороны воды увеличивается, сжимая рыбу и сдавливая пузырь. При этом вес вытесняемой рыбой воды уменьшается, становится меньше веса рыбы, и она может плавать в глубине. Когда рыба перемещается ближе к поверхности, внешнее давление воды уменьшается и плавательный пузырь увеличивает в объёме. Это позволяет рыбе плавать на меньшей глубине. Рыбы, которые не имеют плавательного пузыря, чтобы не утонуть, должны находиться в постоянном движении или вести придонный образ жизни.

ЭТО ИНТЕРЕСНО

Задача о золотой короне побудила Архимеда заняться вопросом о плавании тел. Результатом работы стало появление замечательного сочинения «О плавающих телах», которое дошло до нас. В этой работе великий учёный формулирует условия плавания тел и доказывает их при помощи очень глубоких и при этом достаточно простых рассуждений.

Архимед рассматривает шесть тел.

<p>Тело 1 — жидкость объёмом <math>V_1</math></p> <p>Жидкость Объём <math>V_1</math> Вес <math>A</math></p> 	<p>Тело 2 — металл объёмом <math>V_1</math>, оно весит больше, чем тело 1</p> <p>Металл Объём <math>V_1</math> Вес <math>A + B</math></p> 
<p>Тело 3 — жидкость весом <math>A + B</math>, объёмом <math>V_2</math>, большим чем <math>V_1</math></p> <p>Жидкость Объём <math>V_2</math> Вес <math>A + B</math></p> 	<p>Тело 4 из лёгкого материала, при объёме <math>V_2</math> его вес равен <math>A</math></p> <p>Лёгкое тело Объём <math>V_2</math> Вес <math>A</math></p> 
<p>Тело 5 состоит из тел 1 и 3</p> <p>Жидкость Объём <math>V_1 + V_2</math> Вес <math>A + A + B = 2A + B</math></p> 	<p>Тело 6 состоит из тел 2 и 4</p> <p>Составное тело Объём <math>V_1 + V_2</math> Вес <math>A + A + B = 2A + B</math></p> 

**Первое утверждение Архимеда:** тела, имеющие при равном объёме равный с жидкостью вес, будут плавать, полностью погрузившись в жидкость. Рассмотрим тела 5 и 6, имеющие равные вес и объём. Тело 5 целиком состоит из жидкости, значит, тело 6 будет плавать в этой жидкости.

**Второе утверждение Архимеда:** твёрдые тела, более лёгкие, чем жидкость, при погружении в жидкость стремятся вверх с силой, равной разности между весом жидкости, взятой в объёме этих тел, и весом самих тел. Рассмотрим тела 3 и 4. Лёгкое тело 4 имеет такой же объём, как и тело 3, состоящее из жидкости, но его вес на  $B$  меньше. Это значит, что если тело 4 погрузить в жидкость, то оно будет стремиться вверх с силой  $B$ .

**Третье утверждение Архимеда:** тела тяжелее жидкости, опущенные в неё, погружаются всё глубже, пока не достигнут дна. Пребывая в жидкости, они теряют в своём весе столько, сколько весит жидкость, взятая в объёме этих тел. Рассмотрим составное тело 6. На одну его часть — тело 4 — действует вертикально вверх сила  $B$ , и тело плавает в жидкости (см. первое утверждение). Так как тело находится в равновесии, то на другую его часть — тело 2 — тоже действует сила  $B$ , но направленная вниз. Так как вес тела 2 равен  $A + B$ , то при погружении в жидкость оно теряет в весе  $A + B - B = A$ . Это как раз столько, сколько весит жидкость в объёме тела 2. Тело 2, помещённое в жидкость, будет тонуть.

**ПЛАВАНИЕ ЧЕЛОВЕКА.** Средняя плотность человека, равная  $1036 \text{ кг/м}^3$ , немного превышает плотность воды. Из-за того что плотность пресной воды, примерно равная  $1001 \text{ кг/м}^3$ , меньше плотности морской воды, примерно равной  $1025 \text{ кг/м}^3$ , в пресной воде плавать труднее, чем в солёной. На Земле есть и такие водоёмы, в которых невозможно утонуть. Например, солёное озеро, называемое Мёртвым морем (на Ближнем Востоке), или озеро Медвежье (в Курганской области). Из-за большого содержания соли плотность воды в них оказывается больше плотности человеческого тела, и потому человек может спокойно лежать на поверхности озера и даже читать книгу.

На плавание человека также влияет дыхание. При вдохе лёгкие человека наполняются воздухом и объём грудной клетки увеличивается. Это означает, что увеличивается выталкивающая сила и человеку легче держаться на поверхности воды. При выдохе, наоборот, объём грудной клетки уменьшается, выталкивающая сила также уменьшается. При этом легче нырять и погружаться под воду.

#### Вывод

! Способность тела плавать в жидкости зависит от соотношения силы тяжести и архимедовой силы, действующей на него.

#### Ключевые слова

Условия плавания тел; плавание рыб

#### и вопросы задания

1. Как условия плавания тела зависят от его плотности?
2. Как зависит глубина погружения тела, плавающего на поверхности жидкости, от его плотности?
3. Почему нельзя тушить горящие нефтепродукты (керосин, бензин) водой?
4. Может ли тело в одной жидкости тонуть, а в другой плавать? Ответ поясните на примере.
5. Как изменился бы уровень воды в океане, если бы растаяли айсберги? Изменится ли уровень воды в стакане с пресной водой, в котором плавает кусочек льда, после того, как лёд растает?

# ПЛАВАНИЕ СУДОВ § 64

## НОВОЕ В УРОКЕ

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.

- Как плавают суда.
- Как осуществляется погружение и всплытие подводной лодки.

## ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Какие силы действуют на погружённое в воду тело?
- При каких условиях тело плавает в жидкости?

**ПОЧЕМУ КОРАБЛИ ПЛАВАЮТ.** Как вы уже знаете, тело плавает в жидкости, если его плотность меньше плотности жидкости. Средняя плотность судов намного меньше плотности воды из-за того, что в них множество пустот, заполненных воздухом. Большие корабли вытесняют такой большой объём воды, что выталкивающая сила, действующая на них, является вполне достаточной для того, чтобы удерживать их на плаву.

Вероятно, первые плавательные средства древних людей появились в 10-м тыс. до н. э. В качестве материалов использовались стволы деревьев, бамбук или тростник, так как они не тонули в воде. Их связывали вместе волокнами пальмы или других растений. Такой плот позволял передвигаться вдоль берега по течению и перевозить тяжёлые грузы. Для управления плотом использовался длинный шест, который постепенно усовершенствовался в гребную доску, сточенную с одной стороны и расширенную с другой. Так было изобретено весло. Позднее появились первые лодки. Их изготавливали из массивных брёвен, выдалбливая и выжигая в них углубление для гребца.

Примерно в 4-м тыс. до н. э. в Древнем Египте начали строить лодки с парусами, а с середины 2-го тыс. до н. э. финикийцы на своих кораблях стали выходить в открытое море. Так, с изобретения лодки, весла и паруса началась история мореплавания.

Когда корабль находится на поверхности, вес воды, вытесняемой подводной частью судна, равен весу судна с грузом в воздухе, или силе тяжести, действующей на судно с грузом. Чем больше вес корабля с грузом, тем большая часть корабля будет погружена в воду. Глубину, на которую судно погружается в воду, называют осадкой. Наибольшая допустимая осадка отмечается на корпусе красной линией — это ватерлиния. Корабль не должен погружаться в воду ниже этой отметки.

## ЭТО ИНТЕРЕСНО

Открытие Архимедом условий плавания тел позволило рассчитывать ватерлинию и строить большие корабли. Сам Архимед принимал участие в проектировании и создании корабля «Сиракузия», который считается самым большим судном древности. Длина этого трёхмачтового корабля была более 100 м, а грузоподъёмность превышала 1500 т. На «Сиракузии» располагались пассажирские каюты, стояла для лошадей, библиотека и даже небольшой храм.





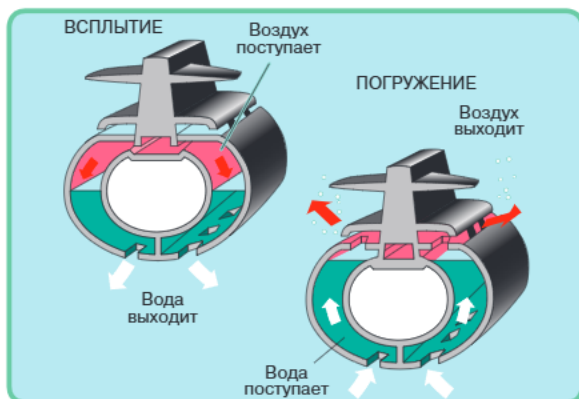
Если корабль погружён в воду до ватерлинии, он вытесняет максимально большой объём воды. Вес этой воды равен силе тяжести, действующей на судно с грузом, и называется водоизмещением. Грузоподъёмность — это разность между водоизмещением судна и весом самого судна без груза.

В Средние века корабли, построенные и загруженные в Европе, иногда тонули, доходя до тропиков. Дело в том, что судовладельцы загроужали корабли как можно больше, чтобы получить большую прибыль. При этом корабли загружались, находясь в холодных солёных водах. Когда же судно попадало в тропики, где тёплая и менее солёная вода имеет меньшую плотность, на него действовала меньшая выталкивающая сила. Поэтому глубина погружения корабля увеличивалась, что приводило к затоплению.

В конце XIX в. британский политик и общественный деятель С. Плимсоль предложил делать на кораблях специальные отметки, которые указывают осадку корабля и предел, до которого судно может быть загружено при определённых типах вод и температуры.

В водах Арктики, почти круглый год покрытых льдами, для прохода судов необходимы ледоколы. Россия — единственная страна, которая имеет атомный ледокольный флот. Первым в мире был советский атомный ледокол «Ленин», который был спущен на воду в 1957 г.

**ПОГРУЖЕНИЕ И ВСПЛЫТИЕ ПОДВОДНОЙ ЛОДКИ.** В отличие от корабля, подводная лодка способна не только плавать по поверхности, но и погружаться ниже уровня воды. Погружение или всплытие подводной лодки происходит за счёт изменения её массы. Дело в том, что подводная лодка имеет особую конструкцию. Она состоит из внешнего и внутреннего корпусов, между которыми находятся балластные цистерны. Когда цистерны пустые, т. е. заполнены воздухом, подводная лодка имеет меньшую массу и плавает по поверхности воды, как обычный корабль. Для погружения подводной лодки морская вода через специальные клапаны заполняет цистерны, вытесняя из них воздух. При этом масса подводной лодки увеличивается, и она начинает погружаться. Глубину погружения можно регулировать, меняя соотношение воды и воздуха в балластных цистернах. Для всплытия подводной лодки вода из цистерн вытесняется сжатым воздухом.



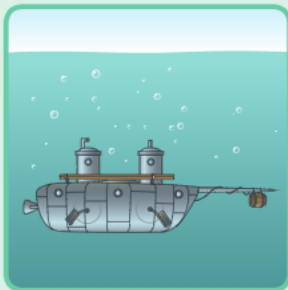
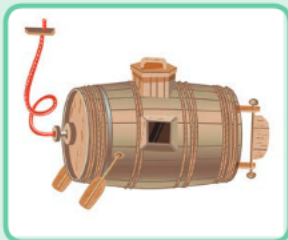
ЭТО ИНТЕРЕСНО

Первую подводную лодку построил в Англии голландец Корнелиус Дреббель в 1620 г. Позже он совершенствовал своё изобретение, и последняя модель уже могла вмещать 15 пассажиров. Однако это изобретение не заинтересовало короля Англии и в дальнейшем не было использовано.

Первую российскую подводную лодку сконструировал в 1721—1724 г. изобретатель Ефим Прокопьевич Никонов при поддержке Петра I. Лодка, названная «потаённым судном», была оснащена шлюзовой камерой, через которую мог выйти водолаз.

Первая в мире подводная лодка из металла была построена в 1834 г. под руководством российского морского инженера Карла Андреевича Шильдера. Испытания этой подлодки, включая первый подводный запуск пороховых ракет, были осуществлены в 1834 г. на Неве.

Российский инженер и изобретатель Иван Фёдорович Александровский разработал одну из первых реально применявшихся на флоте подводных лодок, которая была испытана в Кронштадте в 1866 г. После исправлений выявившихся на первых испытаниях недостатков подводная лодка Александровского погружалась в Средней Кронштадтской гавани на глубину 9 м с экипажем из 22 человек. Длина этой подводной лодки составляла 33 м.



! Плавание судов возможно из-за того, что их средняя плотность намного меньше плотности воды.

ВЫВОД

Плавание судов; осадка; ватерлиния; водоизмещение; грузоподъёмность; подводная лодка

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Может ли пластилин, плотность которого больше плотности воды, плавать на поверхности воды? Если да, то каким образом?
2. За счёт каких сил происходит погружение и всплытие подводной лодки?
3. Теплоход переходит из реки в море. Сравните выталкивающие силы, действующие на теплоход в этих бассейнах. Что при этом происходит с осадкой теплохода?
4. При погружении батискафа из тёплых верхних слоёв воды в более холодные нижние слои наблюдается его резкое торможение. Чем это объяснить?

## § 65 ЗАКОН АРХИМЕДА ДЛЯ ГАЗОВ. ВОЗДУХОПЛАВАНИЕ

### НОВОЕ В УРОКЕ

- Почему возможно воздухоплавание.

### ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Как формулируется закон Архимеда?
- Каковы условия плавания тел?

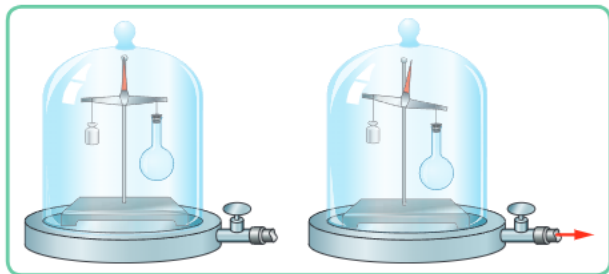
Закон Архимеда справедлив не только для жидкостей, но и для газов. В газах также существует выталкивающая сила.

**ЗАКОН АРХИМЕДА ДЛЯ ГАЗОВ.** Для демонстрации существования выталкивающей силы в газах рассмотрим следующий опыт.

### ИССЛЕДОВАНИЕ

Под колоколом воздушного насоса установим весы, на которых большая колба с воздухом уравновешена маленькой гирькой. Так как объём колбы больше объёма гирьки, то выталкивающая сила, действующая на колбу, больше выталкивающей силы, действующей на гирьку.

При откачивании воздуха выталкивающая сила, действующая на колбу, уменьшается в большей мере, чем выталкивающая сила, действующая на гирьку. Поэтому равновесие весов нарушается, и колба с воздухом опускается вниз.



Выталкивающую силу со стороны воздуха следует принимать во внимание при точном определении массы тела путём взвешивания.

**ПОДЪЁМНАЯ СИЛА.** Благодаря существованию выталкивающей силы в газах возможен полёт воздушных шаров.

Для того чтобы шар поднялся над землёй, необходимо, чтобы архимедова (выталкивающая) сила  $F_A$  была больше силы тяжести  $F_T$ .

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:

$$F = F_A - F_T.$$

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

**ОПЫТЫ МОНГОЛЬФЬЕ И ШАРЛЯ.** 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. Шар диаметром около 11 м и массой более 200 кг за 10 мин взлетел на значительную высоту и опустился в километре от места подъёма. По имени создателей такие воздушные шары, наполняемые тёплым воздухом, называют *монгольфьерами*.

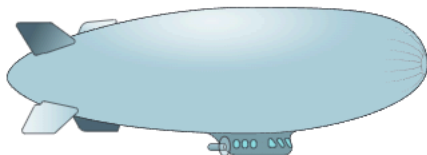
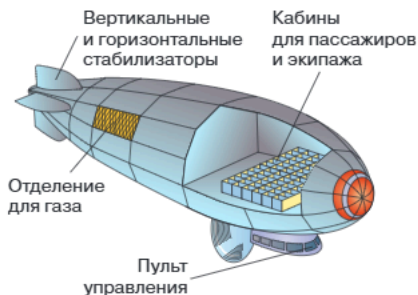
Французский учёный Жак Шарль (одновременно с братьями Монгольфье) разработал другую конструкцию аэростата, заполненного водородом. Теперь подобные воздушные шары, наполненные водородом, гелием или другими газами легче воздуха, называются *шарльерами*.

В сентябре 1783 г. братья Монгольфье сконструировали шар, к нижней части которого прикрепили плетёную корзину, где разместили животных. Весь полёт занял около 8 мин, а шар преодолел расстояние в 3 км.

Первый полёт людей на воздушном шаре состоялся 21 ноября 1783 г. и прошёл весьма успешно. Воздухоплаватели достигли высоты 915 м и за 25 мин преодолели расстояние в 9 км.

Простые воздушные шары неуправляемы, они могут регулировать лишь высоту полёта и летят туда, куда их гонит поток воздуха.

**ДИРИЖАБЛИ.** Дирижабль — это управляемый воздухоплавательный аппарат. Для увеличения скорости полёта дирижаблям придают не сферическую, а обтекаемую продолговатую форму. Первый дирижабль создал в 1852 г. французский инженер Анри Жиффар. Он снабдил свой аэростат двигателем и устройством для изменения направления движения.



Дирижаблю для посадки не требуется взлётно-посадочная полоса, нужна только причальная мачта. Кроме того, он может и не приземляться, а просто зависнуть над землёй.

Во время Великой Отечественной войны дирижабли и аэростаты использовались для разведки и обороны крупных городов, в том числе Москвы.

В наше время дирижабли не перевозят людей, а используются либо в рекламных целях, либо для научных исследований.



**СТРАТОСТАТЫ.** Стратостат — это исследовательский воздухоплавательный аппарат, предназначенный для полёта в стратосферу, т. е. на высоту более 11 км. Плотность воздуха в нижних слоях стратосферы на порядок меньше, чем на уровне моря. Поэтому для создания достаточной подъёмной силы аэростата объём баллона должен превышать, как правило,  $14\,000\text{ м}^3$ .

Перед стартом оболочку заполняют не полностью, и баллон имеет сильно вытянутую грушевидную форму. По мере подъёма стратостата газ в баллоне расширяется и растягивает оболочку. Чем меньше начальный объём стратостата, тем выше он поднимется. Если полностью надуть оболочку стратостата на земле, то, поднявшись, он может лопнуть, так как давление внутри шара станет намного больше атмосферного давления.

Современные стратостаты наполняют гелием, а оболочку делают из тонкого и прочного пластика. Стратостаты широко используются в метеорологических и различных научных исследованиях.

#### Вывод

! Благодаря существованию выталкивающей силы в газах возможно воздухоплавание.

#### Ключевые слова

Подъёмная сила; воздухоплавание; воздушные шары; монгольфьер; шарльер; дирижабль; стратостат

#### Вопросы и задания

1. Чем объясняется наличие максимальной высоты («потолка») для воздушно-го шара, которую он не в состоянии преодолеть?
2. На левую чашу рычажных весов положили килограммовую гирю, а на правую чашу — такое количество пуха, что весы оказались уравновешены. Какой вывод можно сделать относительно массы пуха?
3. В каком случае даже при самом точном взвешивании на рычажных весах не надо делать поправку на потерю веса в воздухе?

# РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ § 66



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

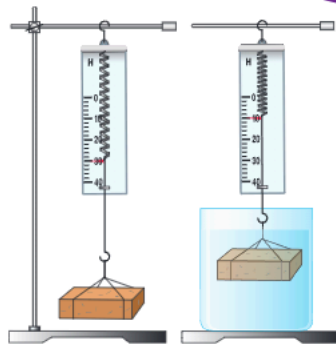
Дано:  
 $P_{\text{в}} = 30 \text{ Н}$   
 $P_{\text{ж}} = 10 \text{ Н}$   
 $F_{\text{А}} - ?$   
 $V - ?$

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

$$F_{\text{А}} = \rho_{\text{ж}} g V;$$

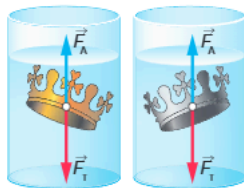
$$V = \frac{F_{\text{А}}}{\rho_{\text{ж}} g};$$

$$V = \frac{20 \text{ Н}}{1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}} \approx 0,002 \text{ м}^3 = 2 \text{ дм}^3.$$



Ответ: 20 Н; 2 дм<sup>3</sup>.

- **ЗАДАЧА 2.** 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.



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

Решение.  
 Масса короны  $m_{\text{к}} = \frac{P_{\text{в}}}{g}.$

Плотность вещества короны  $\rho_{\text{к}} = \frac{m_{\text{к}}}{V_{\text{к}}}.$

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 вещества короны

$$\rho_{\text{к}} = \frac{m_{\text{к}}}{V_{\text{к}}} = \frac{P_{\text{в}}}{g V_{\text{к}}} = \frac{\rho_{\text{ж}} P_{\text{в}}}{P_{\text{в}} - P_{\text{ж}}},$$

$$\rho_{\text{к}} = \frac{1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9,8 \text{ Н}}{9,8 \text{ Н} - 9,2 \text{ Н}} \approx 16300 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Плотность золота равна 19300 кг/м<sup>3</sup>.

Ответ: корона сделана не из чистого золота.

- **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.

Дано:  
 $l = 40$  м  
 $d = 15$  м  
 $h = 0,7$  м  
 $\rho_{\text{ж}} = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

$P = ?$

Решение.

Дополнительный объём воды, вытесненной загруженным паромом,  $V = ldh$ .

Дополнительная выталкивающая сила, действующая на загруженный паром,  $F_A = \rho_{\text{ж}} g V$ .

Тогда максимальный вес груза можно определить так:

$$P = F_A = \rho_{\text{ж}} g l d h.$$

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

Ответ: 4200 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 кг? Плотность водорода составляет  $0,09 \text{ кг/м}^3$ , а плотность воздуха —  $1,29 \text{ кг/м}^3$ .

Дано:  
 $V = 90 \text{ м}^3$   
 $m = 50 \text{ кг}$   
 $\rho_{\text{вод}} = 0,09 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$   
 $\rho_{\text{возд}} = 1,29 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

$F = ?$

Решение.

Определим силу тяжести, действующую на оболочку:

$$F_{\text{об}} = mg.$$

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

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

Архимедова сила, действующая на шар-зонд,

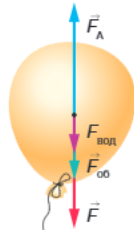
$$F_A = \rho_{\text{возд}} g V.$$

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

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

$$\begin{aligned} F &= \rho_{\text{возд}} g V - (mg + \rho_{\text{вод}} V g) = \\ &= (\rho_{\text{возд}} - \rho_{\text{вод}}) g V - mg. \end{aligned}$$

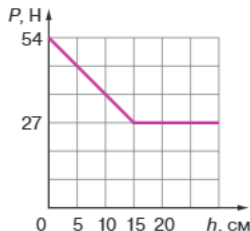
$$\begin{aligned} F &= (1,29 - 0,09) \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 90 \text{ м}^3 - 50 \text{ кг} \cdot 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} = \\ &= 580 \text{ Н}. \end{aligned}$$



Ответ: 580 Н.

**Задачи для самостоятельного решения**

1. Металлический брус имеет площадь сечения  $6 \text{ см}^2$ , длину  $3 \text{ м}$  и массу  $12 \text{ кг}$ . Какая сила требуется, чтобы удерживать брус, полностью погружённый в воду?
2. Определите объём железной гайки, если при погружении в бензин её вес уменьшается на  $20,6 \text{ мН}$ . Плотность бензина  $700 \text{ кг/м}^3$ .
3. Металлический кубик со стороной  $2,5 \text{ см}$  в воздухе весил  $1,22 \text{ Н}$ . При помещении его в некоторую жидкость кубик стал весить  $1,11 \text{ Н}$ . Какая это жидкость?
4. Золотая статуэтка в воздухе весит  $1,9 \text{ Н}$ , а в воде —  $1,5 \text{ Н}$ . Есть ли в ней полость, и если есть, то какого она объёма? Плотность золота  $19\,300 \text{ кг/м}^3$ .
5. Кубик плавает в воде так, что  $\frac{1}{4}$  его объёма находится над водой. Определите плотность кубика. Груз какой максимальной массы может удержать на поверхности этот кубик, прежде чем утонуть, если его масса равна  $2 \text{ кг}$ ?
6. Прямоугольный брусок из пробки сечением  $15 \text{ см}^2$  и высотой  $2 \text{ см}$  опускают плашмя на поверхность воды. Определите глубину погружения пробки в воду при плавании. Плотность пробки  $240 \text{ кг/м}^3$ .
7. На сколько увеличится глубина осадки корабля, площадь сечения которого вдоль ватерлинии равна  $1600 \text{ м}^2$ , если корабль примет груз массой  $800 \text{ т}$  и будет находиться в морской воде ( $\rho = 1030 \text{ кг/м}^3$ ); в пресной воде?
8. Какой объём должен иметь воздушный шарик, наполненный гелием, чтобы взлететь? Масса шарика с гелием  $4 \text{ г}$ . Внешние условия считайте нормальными. Плотность воздуха  $1,29 \text{ кг/м}^3$ .
9. Определите подъёмную силу аэростата, вмещающего  $1200 \text{ м}^3$  водорода, если оболочка и гондола со всеми приборами имеют массу  $480 \text{ кг}$ . Внешние условия считайте нормальными. Плотность водорода  $0,09 \text{ кг/м}^3$ , а плотность воздуха  $1,29 \text{ кг/м}^3$ .
10. Кубик, подвешенный к динамометру, постепенно опускают в некоторую жидкость. На рисунке показан график зависимости показаний динамометра от глубины погружения тела. Из какого материала сделан кубик и в какую жидкость его опускают?



## § 67 ЛАБОРАТОРНЫЕ И ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ

### Лабораторная работа № 9

#### Измерение выталкивающей силы, действующей на погружённое в жидкость тело

##### Цель работы

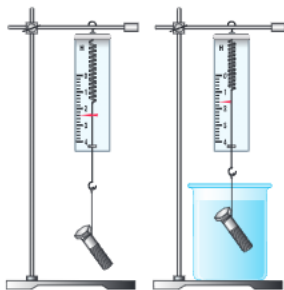
Измерить на опыте выталкивающую силу, действующую на погружённое в жидкость тело; исследовать, от каких величин зависит выталкивающая сила.

##### Оборудование и материалы

Динамометр, штатив с муфтой и лапкой, стаканы с водой и насыщенным раствором соли в воде; тела одинакового объёма, но разной плотности; тела разного объёма, изготовленные из одного материала.

##### Ход работы

- Укрепите динамометр на штативе и подвесьте к нему одно из тел. Определите вес тела  $P$  в воздухе.
- Подставьте стакан с водой и опускайте муфту с лапкой и динамометром, пока всё тело не окажется под водой. Определите вес тела  $P_1$  в воде.
- Вычислите выталкивающую силу, действующую на тело:  $F = P - P_1$ .
- Вместо чистой воды возьмите насыщенный раствор соли и определите выталкивающую силу, действующую на это же тело.
- Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу в своей тетради. Сделайте вывод.



Тело/Жидкость	$P$ , Н	$P_1$ , Н	$F$ , Н

- Определите указанным способом выталкивающую силу, действующую на тела одинакового объёма, но разной плотности при их полном погружении в воду.
- Определите указанным способом выталкивающую силу, действующую на тела разного объёма, но изготовленные из одного материала при их полном погружении в воду.
- Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу в своей тетради. Сделайте выводы.

Лабораторная работа № 10

Плавание тела в жидкости

**Цель работы**

На опыте выяснить условия, при которых тело плавает и при которых тонет.

**Оборудование и материалы**

Весы с разновесами, измерительный цилиндр (или мензурка), пробирка-поплавок с пробкой, сухой песок, фильтровальная бумага или сухая салфетка.

**Ход работы**

- Насыпьте в пробирку столько песка, чтобы она, закрытая пробкой, плавала в мензурке с водой в вертикальном положении и часть её находилась над поверхностью воды (рис. 1).
- Определите выталкивающую силу  $F$ , действующую на пробирку. Она равна весу  $P_{\text{в}}$  воды, вытесненной пробиркой:  $F = P_{\text{в}}$ . Чтобы найти вес воды, вытесненной пробиркой, нужно определить объём  $V$  этой воды. Для этого отметьте уровни воды в мензурке до и после погружения пробирки в воду. Зная объём вытесненной воды и плотность, вычислите её вес.
- Выньте пробирку из воды, протрите её фильтровальной бумагой или салфеткой. Определите на весах массу  $m$  пробирки с песком с точностью до 1 г.
- Рассчитайте силу тяжести  $F_{\text{т}}$ , действующую на пробирку с песком. Она равна весу  $P$  пробирки с песком в воздухе:  $F_{\text{т}} = P$ .
- Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу в своей тетради. Отметьте поведение пробирки в воде (плавает пробирка или тонет).

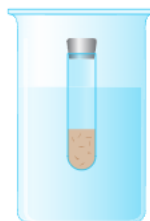


Рис. 1

№ опыта	V		F = P <sub>в</sub> , Н	m		F <sub>т</sub> = P, Н	Поведение пробирки в воде
	мл	м <sup>3</sup>		г	кг		

- Добавьте в пробирку ещё немного песка. Определите выталкивающую силу и силу тяжести указанным выше способом. Отметьте поведение пробирки в воде (рис. 2).
- Прodelайте аналогичные действия предыдущего пункта несколько раз, пока пробирка, закрытая пробкой, не утонет (рис. 3).
- Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу. Сделайте вывод об условиях плавания тел в жидкости.



Рис. 2

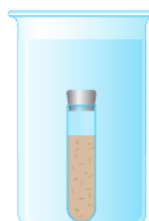


Рис. 3

## Практическая работа-исследование

### Изучение закона Архимеда

Плотность вещества является важной физической величиной, характеризующей свойства различных материалов. Вы уже знаете, что плотность можно вычислить, измерив массу и объём тела. Но существуют и другие способы определения плотности, например, можно использовать закон Архимеда и условия плавания тел.

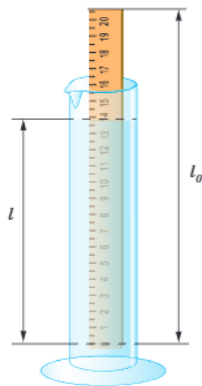
### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ДЕРЕВЯННОЙ ЛИНЕЙКИ ГИДРОСТАТИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

#### Цель работы

Научиться определять плотность древесины гидростатическим методом.

#### ПОМОЩНИК

- В качестве оборудования можно использовать набор деревянных линеек, измерительный цилиндр, воду.
- Поместите линейку в мензурку с водой и долейте в неё столько воды, чтобы линейка свободно плавала, сохраняя вертикальное положение.
- Отметьте положение уровня воды по делениям линейки.
- Запишите условие плавания линейки, при котором сила тяжести и архимедова сила уравновешены.  
 $F_T = mg = \rho_d Vg = \rho_d S l_0 g$ ,  $F_A = \rho_{в} g V = \rho_{в} g S l$ ,  
 где  $\rho_d$  и  $\rho_{в}$  — плотности дерева и воды,  $S$  — площадь поперечного сечения линейки,  $l_0$  — длина линейки,  $l$  — положение уровня воды по шкале линейки.
- Выведите формулу для получения плотности дерева и вычислите её значение. Выразите полученное значение плотности в килограммах на кубический метр ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ).
- Проведите аналогичные измерения ещё для двух линеек из набора, длины которых различаются на 5–10 см.
- Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу в тетради.



№ опыта	Длина линейки $l_0$ , см	Длина погружённой части линейки $l$ , см	Плотность воды $\rho_{в}$ , $\text{кг}/\text{м}^3$	Плотность материала линейки $\rho_d$ , $\text{кг}/\text{м}^3$

- Сравните полученные значения плотности древесины. Объясните полученный результат. Сделайте вывод.
- Можно ли измерить плотность пластмассовой линейки указанным способом? Если да, то проведите необходимые измерения и определите плотность пластмассы.

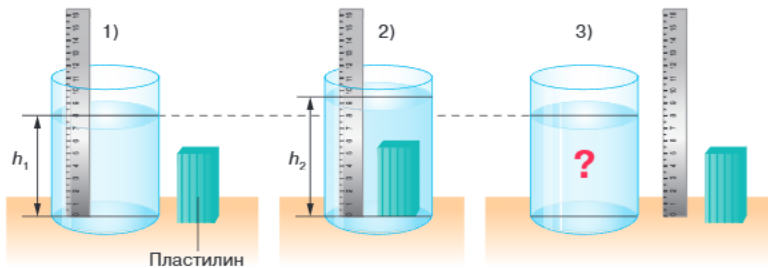
**ГИДРОСТАТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ТЕЛА**

На уроке физики, подводя итоги темы, содержащей материал о давлении жидкости и законе Архимеда, учитель рассказал учащимся о методе гидростатического взвешивания, с помощью которого можно определить плотность тела. В сущности, этот метод был впервые использован самим Архимедом при решении знаменитой проблемы, связанной с короной царя Гиерона. Важно то, что в основе метода гидростатического взвешивания лежит именно взвешивание тела сначала в воздухе, а затем в жидкости с известной плотностью. При этом, очевидно, в составе оборудования должен присутствовать прибор, с помощью которого можно найти вес тела, например динамометр. Но в некоторых случаях, отметил учитель, наличие весов или динамометра не является обязательным. Поэтому учитель поставил перед учащимися задачу определить плотность пластилина гидростатическим методом, проводя всего лишь три измерения с помощью линейки. Прочелайте и вы необходимые измерения.

**Этапы выполнения задания**

- В качестве оборудования вам потребуются цилиндрический сосуд с водой, кусочек пластилина, металлическая линейка.
- С помощью линейки тщательно измерьте первоначальную высоту  $h_1$  уровня воды в сосуде.
- Опустите пластилин на дно сосуда с водой и измерьте высоту  $h_2$  уровня воды в сосуде.
- Подумайте, какое третье измерение с помощью линейки необходимо сделать дополнительно.

**Подсказка:** внимательно прочитайте параграфы учебника, в которых говорится о законе Архимеда и условиях плавания тел.



- Считая известной плотность воды  $\rho_v$  и принимая во внимание результаты всех трёх измерений, вычислите плотность  $\rho_n$  пластилина.
- Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу в тетради.

$h_1$ , мм	$h_2$ , мм	?	$\rho_v$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho_n$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho_n$ , табл., г/см <sup>3</sup>
			1,0		

- Сравните полученное значение плотности  $\rho_n$  с его табличным значением  $\rho_n$ , табл. и сделайте выводы о точности гидростатического метода. Можно ли этот метод считать универсальным?

**Примечание:** для увеличения точности измерений рекомендуется использовать линейку с ценой деления шкалы 0,5 мм.

## ПОДВЕДЁМ ИТОГИ

- На тело, погружённое в жидкость или газ, действует 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.
- Способность тела плавать в жидкости зависит от соотношения силы тяжести и архимедовой силы, действующей на него.
- Плавание судов возможно из-за того, что их средняя плотность намного меньше плотности воды.
- Благодаря существованию выталкивающей силы в газах возможно воздухоплавание.
- Подъёмная сила воздушного шара равна разности между архимедовой силой, действующей на шар, и силой тяжести шара с газом.

### 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? А если в воду бросить камень?

### Темы исследовательских и проектных работ

- Способы плавания морских животных и рыб.
- Покорение океанов.
- Как плавают подводная лодка.
- Устройство современных судов.
- История воздухоплавания.
- Использование воздушных шаров.
- Почему летает самолёт.
- Предсказания Жюль Верна в области плавания и воздухоплавания, которые опередили своё время.

# Глава 8

## РАБОТА, МОЩНОСТЬ, ЭНЕРГИЯ

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

*М. В. Ломоносов*



## § 68 МЕХАНИЧЕСКАЯ РАБОТА

### НОВОЕ В УРОКЕ

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

### ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое сила?
- Каковы единицы силы?

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*.

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

**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 называется физическая величина, зависящая от численного значения и направления силы и от пройденного пути 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:

$$\text{работа} = \text{сила} \cdot \text{путь}.$$

**ВАЖНО**

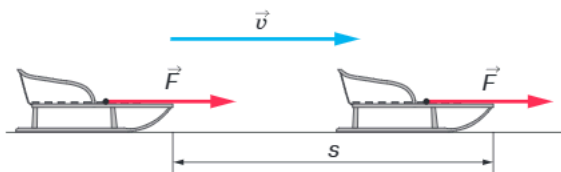
Если обозначить величины: механическую работу —  $A$ , силу, действующую на тело, —  $F$  и пройденный путь —  $s$ , то **работу** рассчитывают по формуле

$$A = Fs,$$

если направление силы совпадает с направлением движения тела.

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

**Если направление силы совпадает с направлением движения тела, то данная сила совершает положительную работу.**

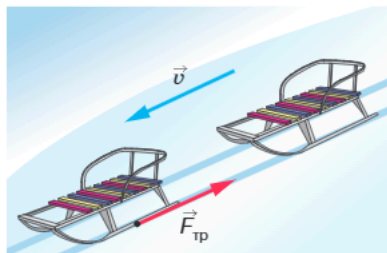


Например, мы везём по снегу санки, и направление приложенной нами силы совпадает с направлением движения.

В этом случае сила совершает положительную работу, которую определяют по формуле

$$A = Fs.$$

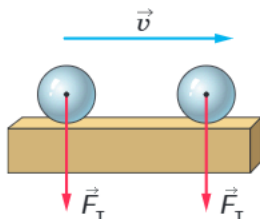
**Если движение тела происходит в направлении, противоположном направлению приложенной силы, то данная сила совершает отрицательную работу.**

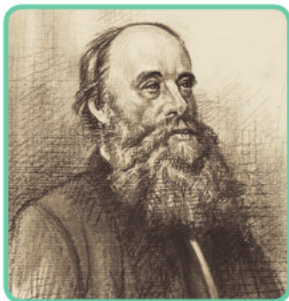


Отрицательная работа, например, совершается силой трения скольжения  $\vec{F}_{\text{тр}}$  в случае, когда санки, скатившись с горы, движутся по снегу вплоть до полной остановки.

В данном случае работа будет отрицательной:  $A = -F_{\text{тр}}s$ .

**Если направление силы, действующей на тело, перпендикулярно направлению движения, то эта сила работы не совершает, работа равна нулю.**





Джеймс Прескотт Джоуль  
(1818—1889)

**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 *миллиджоуль* (мДж), *килоджоуль* (кДж), *мегаджоуль* (МДж):

$$1 \text{ мДж} = 0,001 \text{ Дж} = 10^{-3} \text{ Дж},$$

$$1 \text{ кДж} = 1000 \text{ Дж} = 10^3 \text{ Дж},$$

$$1 \text{ МДж} = 1\,000\,000 \text{ Дж} = 10^6 \text{ Дж}.$$

**СИТУАЦИИ, В КОТОРЫХ МЕХАНИЧЕСКАЯ РАБОТА НЕ СОВЕРШАЕТСЯ.** Мы уже знаем, что если сила

действует перпендикулярно направлению движения тела, то работа этой силы равна нулю.

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, механическая работа не совершалась, 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.

#### ВЫВОД

! Механическая работа совершается только тогда, когда на тело действует сила и тело изменяет своё положение под действием этой силы.

#### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Механическая работа; положительная работа; отрицательная работа

#### И ВОПРОСЫ ЗАДАНИЯ

1. Какие два условия необходимы для совершения механической работы?
2. Может ли механическую работу совершить сила трения покоя? Приведите соответствующие примеры.
3. Пробковый поплавок равномерно всплывает в воде. Совершает ли работу архимедова сила?
4. Приведите примеры, когда сила, действующая на тело, не совершает работу при перемещении тела.

# МОЩНОСТЬ § 69

## НОВОЕ В УРОКЕ

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.

- Что такое мощность.
- Как рассчитать мощность.
- Единицы мощности.

## ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое механическая работа?
- Как рассчитать механическую работу?

**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:

$$\text{мощность} = \frac{\text{работа}}{\text{время}}$$

## ВАЖНО

Если обозначить величины: мощность —  $N$ , работу —  $A$  и время, затраченное на работу, —  $t$ , то **мощность** рассчитывают по формуле

$$N = \frac{A}{t}.$$

**ЕДИНИЦЫ МОЩНОСТИ.** За единицу мощности принимают такую мощность, при которой за 1 с совершается работа, равная 1 Дж. Эту единицу называют *ватт* (Вт) в честь английского учёного Джеймса Уатта.

В технике широко используют более крупные единицы мощности: *киловатт* (кВт), *мегаватт* (МВт), *гигаватт* (ГВт), а также более мелкую единицу — *милливатт* (мВт):

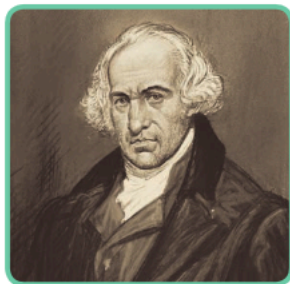
$$1 \text{ мВт} = 0,001 \text{ Вт}, \quad 1 \text{ кВт} = 1000 \text{ Вт},$$

$$1 \text{ МВт} = 1\,000\,000 \text{ Вт} = 10^6 \text{ Вт},$$

$$1 \text{ ГВт} = 1\,000\,000\,000 \text{ Вт} = 10^9 \text{ Вт}.$$

Также применяется внесистемная единица мощности — *лошадиная сила* (л. с.):

$$1 \text{ л. с.} = 735,5 \text{ Вт}.$$



Джеймс Уатт  
(1736—1819)

 ЭТО ИНТЕРЕСНО

Одними из важнейших изобретений промышленной революции XVIII в. была паровая машина, в которой пар, расширяясь, двигал поршень и совершал механическую работу. Первая в России паровая машина была создана в 1766 г. по проекту русского изобретателя Ивана Ивановича Ползунова.

Более совершенную паровую машину создал английский изобретатель Джеймс Уатт в 1784 г. Чтобы описать производительность своей паровой машины, Уатт сравнивал её мощность с мощностью лошади. Выполнив расчёты, он пришёл к выводу, что его паровая машина может заменить работу десяти лошадей. Так появился термин «лошадиная сила» как единица мощности двигателей.

Эту единицу часто используют и в наши дни для характеристики мощности двигателя 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.

**ПРИМЕРЫ МОЩНОСТЕЙ.** 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 в среднем равна 130 л. с., или 96 кВт, мощность электрической плиты — 8 кВт, а мощность двигателя современного космического корабля составляет порядка 50 000 000 кВт. Можно также оценить мощность человека при ходьбе, она в среднем равна 60 Вт. А мощность бегущего гепарда достигает 1 кВт.

**МОЩНОСТЬ ПРИ ДВИЖЕНИИ С ПОСТОЯННОЙ СКОРОСТЬЮ.** Пусть тело движется равномерно под действием некоторой силы, и направление этой силы совпадает с направлением движения. Тогда работа силы равна произведению силы и пути, пройденного телом под действием этой силы:

$$A = Fs.$$

Запишем выражение для мощности в следующем виде:

$$N = \frac{A}{t} = \frac{Fs}{t}.$$

Поскольку  $\frac{s}{t} = v$  — скорость равномерного прямолинейного движения, получим:

$$N = \frac{Fs}{t} = Fv.$$

 ВАЖНО

Если обозначить величины: мощность —  $N$ , силу, действующую на тело, —  $F$  и скорость движения тела —  $v$ , то **мощность** рассчитывают по формуле:

$$N = Fv.$$

Полученная формула показывает, что если сила, действующая на тело, постоянна, то скорость тела пропорциональна мощности:  $v = \frac{N}{F}$ .

Именно поэтому быстроходные транспортные средства снабжаются двигателями большой мощности.

Из формулы также видно, что при постоянной мощности двигателя сила тяги тем меньше, чем больше скорость. И наоборот, при уменьшении скорости сила тяги возрастает. Например, при подъёме автомобиля в гору водитель переходит на пониженную скорость, что приводит к увеличению силы тяги.

Если тело движется равномерно под действием некоторой силы, например, санки равномерно перемещают по горизонтальной поверхности с помощью верёвки, то сила  $\vec{F}$  тяги (натяжения верёвки), очевидно, равна силе трения, действующей на санки вдоль поверхности. В этом случае мощность силы пропорциональна скорости тела.

Однако часто встречаются ситуации, когда сама сила сопротивления оказывается пропорциональной скорости тела:  $F_{\text{сопр}} = kv$ , где  $k$  — некоторая постоянная величина, обладающая размерностью (кг/с) и зависящая от формы тела, свойств среды, в которой движется тело, и т. д. Например, такая зависимость силы сопротивления от скорости характерна для гоночных автомобилей, быстроходных катеров и т. п. Поскольку сила тяги равна силе сопротивления, то в этом случае зависимость мощности от скорости будет квадратичной:  $N = kv \cdot v = kv^2$ . Из последнего выражения следует, что для увеличения скорости тела, например, в 2 раза развиваемую мощность необходимо увеличить в 4 раза.



Мощность показывает, какая работа совершается за единицу времени.

**ВЫВОД**

Мощность; лошадиная сила

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

1. Что характеризует мощность?
2. По какой формуле рассчитывают мощность?
3. Какие используются единицы мощности?
4. В какой момент времени бегун на короткие дистанции развивает большую мощность: в момент старта или в момент финиша?
5. Почему на гоночные автомобили устанавливают более мощные двигатели, чем на обычные автомобили?
6. Можно ли считать автомобиль, способный быстрее набирать максимальную скорость, более мощным?

## § 70 РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

- **ЗАДАЧА 1.** Покупатель толкает тележку с продуктами, перемещая её на расстояние 30 м. Определите работу силы тяги и работу силы трения, если тележка движется с постоянной скоростью. При этом сила трения равна 25 Н.

Дано:  
 $F_{\text{тр}} = 25 \text{ Н}$   
 $s = 30 \text{ м}$

$A_{\text{тяги}} = ?$   
 $A_{\text{тр}} = ?$

Решение.

Так как тележка движется равномерно, то равнодействующая сил, действующих на неё, равна нулю. На тележку по вертикали действуют сила тяжести и сила реакции опоры, которые уравновешивают друг друга. По горизонтали действуют сила тяги и сила трения; они равны по модулю и противоположны по направлению:  $A_{\text{тр}} = A_{\text{тяги}} = A$ .

Направление силы тяги совпадает с направлением движения тележки, поэтому:

$$A = F_{\text{тяги}} s;$$

$$A = 25 \text{ Н} \cdot 30 \text{ м} = 750 \text{ Дж}.$$

Направление силы трения противоположно направлению движения, поэтому работа силы трения отрицательна:

$$A = -F_{\text{тр}} s;$$

$$A = -25 \text{ Н} \cdot 30 \text{ м} = -750 \text{ Дж}.$$

Ответ: 750 Дж; -750 Дж.

- **ЗАДАЧА 2.** Кабина лифта массой 1200 кг опускается на 25 м вниз. Чему равна работа силы тяжести?

Дано:  
 $m = 1200 \text{ кг}$   
 $s = 25 \text{ м}$

$A = ?$

Решение.

Сила тяжести, действующая на лифт, направлена вертикально вниз, т. е. направление движения лифта и направление силы тяжести совпадают. В этом случае сила тяжести совершает положительную работу:

$$A = Fs, \text{ где } F = mg \text{ — сила тяжести.}$$

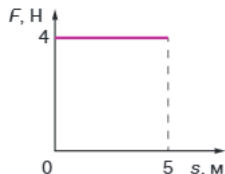
$$\text{Тогда } A = Fs = mgs.$$

$$A = 1200 \text{ кг} \cdot 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 25 \text{ м} = 300\,000 \text{ Дж} = 300 \text{ кДж}.$$

Ответ: 300 кДж.

- **ЗАДАЧА 3.** На рисунке изображён график зависимости силы, действующей на тело, от пройденного пути. Определите работу этой силы, совершённую на всём пути; на половине пути.

Пусть тело преодолевает тот же путь под действием другой силы, работа которой составляет 60 Дж. Вычислите модуль этой силы.



Решение.

По представленному графику видно, что тело под действием постоянной силы, равной 4 Н, переместилось на расстояние 5 м.

Вычислим работу этой силы:  $A = Fs$ ;  $A = 4 \text{ Н} \cdot 5 \text{ м} = 20 \text{ Дж}$ .

Половина пути составляет  $s_{1/2} = 5/2 \text{ м} = 2,5 \text{ м}$ .

Работа силы на половине пути:  $A = 4 \text{ Н} \cdot 2,5 \text{ м} = 10 \text{ Дж}$ .

Найдём силу  $F_1$ , если известно  $A_1 = 60 \text{ Дж}$ :

$$F_1 = \frac{A_1}{s}; \quad F_1 = \frac{60 \text{ Дж}}{5 \text{ м}} = 12 \text{ Н}.$$

Ответ: 20 Дж; 10 Дж; 12 Н.

- **ЗАДАЧА 4.** Рассчитайте мощность двигателя подъёмной машины, если она может поднять кирпичи массой 500 кг на высоту 10 м за 10 с. Сравните полученную мощность с мощностью, которую развил бы рабочий, поднимая эти же кирпичи на ту же высоту, если ему потребуется для этого 1 ч.

Дано:  
 $m = 500 \text{ кг}$   
 $h = 10 \text{ м}$   
 $t_1 = 10 \text{ с}$   
 $t_2 = 1 \text{ ч}$

$N_1$  — ?  
 $N_2$  — ?  
 $\frac{N_1}{N_2}$  — ?

СИ

3600 с

Решение.

Мощность подъёмной машины  $N_1 = \frac{A}{t_1}$ , где

$A$  — работа, совершаемая внешней силой по подъёму кирпичей:  $A = Fh$ .

Сила  $F$  равна по модулю и противоположна по направлению силе тяжести, действующей на кирпичи:  $F = F_\tau = mg$ .

$$N_1 = \frac{mgh}{t_1};$$

$$N_1 = \frac{500 \text{ кг} \cdot 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 10 \text{ м}}{10 \text{ с}} = 5000 \text{ Вт} = 5 \text{ кВт}.$$

Аналогично, мощность рабочего

$$N_2 = \frac{mgh}{t_2}; \quad N_2 = \frac{500 \text{ кг} \cdot 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 10 \text{ м}}{3600 \text{ с}} = 14 \text{ Вт}.$$

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{t_2}{t_1} = \frac{3600 \text{ с}}{10 \text{ с}} = 360.$$

Таким образом мощность подъёмной машины в 360 раз больше мощности рабочего.

Ответ: 5 кВт; 14 Вт; в 360 раз.

- **ЗАДАЧА 5.** Определите мощность ракеты в конце разгона, если достигнутая ею скорость равна 8,0 км/с, а сила тяги двигателей — 300 кН.

Дано:  
 $v = 8 \frac{\text{км}}{\text{с}}$   
 $F = 300 \text{ кН}$   
 $N$  — ?

СИ

8000  $\frac{\text{м}}{\text{с}}$

300 000 Н

Решение.

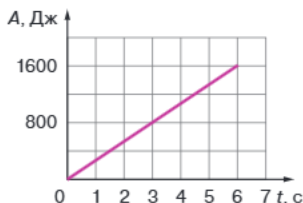
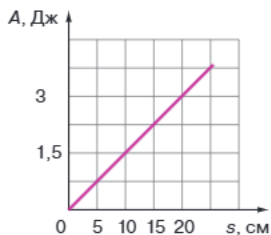
$$N = Fv.$$

$$N = 300 \text{ 000 Н} \cdot 8000 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 2,4 \cdot 10^9 \text{ Вт} = 2,4 \text{ ГВт}.$$

Ответ: 2,4 ГВт.

## Задачи для самостоятельного решения

- 1 С какой горизонтальной силой садовник толкает перед собой газонокосилку, если она переместилась на расстояние 25 м по ровной поверхности? Работа силы тяги садовника составила 2 кДж.
- 2 Камень массой 5 кг опускается на дно водоёма с пресной водой глубиной 7 м. Чему равна работа архимедовой силы? Плотность камня  $1500 \text{ кг/м}^3$ .
- 3 При подъёме железной балки длиной 5 м и сечением  $25 \text{ см}^2$  совершается работа 2 кДж. На какую высоту поднимают балку? Плотность железа  $7800 \text{ кг/м}^3$ .
- 4 Автомобиль массой 2 т, двигаясь равномерно и прямолинейно, преодолел расстояние 5 км. Коэффициент трения шин автомобиля с дорогой равен 0,4. Чему равна работа силы тяги?
- 5 Тело перемещается под действием некоторой силы. На рисунке изображён график зависимости работы этой силы от пройденного телом пути. Чему равна действующая на тело сила?
- 6 Сравните мощность мотоцикла 35 л. с. и мощность велогонщика, который движется со скоростью 50 км/ч, а его мышцы развивают силу тяги 40 Н.
- 7 Атлет при подтягивании поднимает своё тело массой 75 кг на высоту 20 см за 3 с. Какую мощность развивают мышцы атлета?
- 8 В театре занавес массой 150 кг необходимо поднять на высоту 12 м примерно за 5 с. Двигатель какой мощности лучше всего подойдёт для этих целей: 1 кВт; 3,5 кВт; 5,5 кВт?
- 9 На рисунке изображён график зависимости работы силы тяжести, действующей на человека при подъёме по лестнице, от времени. Сравните работу, совершённую за 3 с, и работу, совершённую за 6 с. Сравните мощность, развиваемую человеком за 3 с, и мощность, развиваемую за 6 с.



# ЭНЕРГИЯ § 71

## НОВОЕ В УРОКЕ

Из курса физики вы узнаете о различных видах энергии: механической, тепловой, электрической, ядерной. В механике под энергией понимают запас работы, которую может совершить тело, изменяя своё состояние.

- Что такое энергия.
- В каком случае тело обладает энергией.
- Что такое потенциальная энергия.
- Что такое кинетическая энергия.

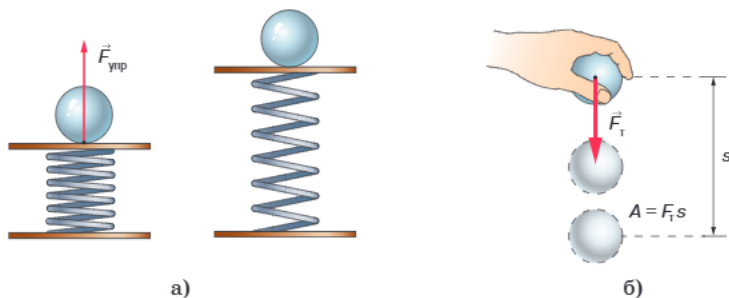
## ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- 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  $F_{\text{упр}}$  совершает работу при распрямлении пружины, поднимая груз (рис. а).

Сила тяжести  $F_{\text{т}}$  совершит работу, если шарик отпустить и дать ему упасть на землю (рис. б).



Про тело, которое, действуя на другое тело с некоторой силой, может совершить работу, говорят, что оно обладает *энергией*.

## ВАЖНО

**Механическая энергия** — это физическая величина, характеризующая способность тела совершить работу.

Чем большую работу может совершить тело, тем большей энергией оно обладает.

В рассмотренных выше примерах была совершена механическая работа. Однако, если мяч лежит на поверхности земли, а пружина совсем не деформирована, то эти тела механической энергией не обладают.

К механическим видам энергии относятся энергия, связанная с положением тела над поверхностью земли, энергия, связанная с деформацией тела, и энергия, связанная с движением тела.

**ЕДИНИЦЫ ЭНЕРГИИ.** Энергию выражают в СИ в тех же единицах, что и работу, т. е. в *джоулях*.

### ФИЗИКА В ЖИЗНИ

Ещё одна единица энергии, с которой мы сталкиваемся в повседневной жизни, — это *калория*. Калории обычно используют для определения энергетической ценности продуктов питания. Количество калорий в пище определяется количеством энергии, которое получает из неё организм. Эта энергия используется организмом для поддержания всех процессов жизнедеятельности: хорошего обмена веществ, сердцебиения, роста волос, лечения ран и т. д., а также для физической активности. Соотношение между джоулем и калорией следующее: 1 кал (1 калория)  $\approx$  4,19 Дж. Например, плитка шоколада массой 100 г содержит примерно 550 ккал (килокалорий), или 2300 кДж энергии.

**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 поверхности земли. Действительно, чем выше находится мячик, тем больший путь он пройдёт при падении на землю.

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.

### ВАЖНО

Энергия, которая определяется взаимным положением взаимодействующих тел или частей одного и того же тела, называется **потенциальной** (от лат. *potentia* — возможность) энергией.

Камень, поднятый над поверхностью земли, деформированная (сжатая или растянутая) пружина, сжатый газ, вода в реках, удерживаемая плотинами, — всё это примеры тел, обладающих потенциальной энергией.

### ЭТО ИНТЕРЕСНО

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.** Стрела, выпущенная из лука, может совершить работу, а это значит, что она обладает энергией. Энергией обладают движущийся вагон, плывущее судно, летящий самолёт.

#### ЭТО ИНТЕРЕСНО

Тот факт, что движущееся тело способно совершить механическую работу, был известен ещё 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.

#### ВАЖНО

Энергия, которой обладает тело вследствие своего механического движения, называется **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.

#### ВЫВОДЫ

- ! Энергия — это физическая величина, характеризующая способность тела совершать работу. Различают потенциальную и кинетическую энергию.
- ! Энергия, которая определяется взаимным положением взаимодействующих тел или частей одного и того же тела, называется потенциальной энергией.
- ! Энергия, которой обладает тело вследствие своего движения, называется кинетической энергией.

Механическая энергия; потенциальная энергия; кинетическая энергия

#### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

#### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. В каком случае можно сказать, что тело обладает энергией?
2. Какую физическую величину называют энергией?
3. Приведите примеры тел, обладающих потенциальной энергией.
4. Приведите примеры тел, обладающих кинетической энергией.
5. Приведите пример, когда тело обладает энергией, но не может совершить работу.

## § 72 ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ И КИНЕТИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ

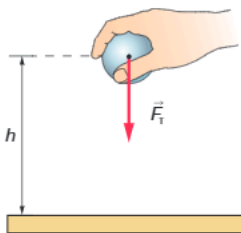
### НОВОЕ В УРОКЕ

- Как рассчитать потенциальную энергию поднятого над землёй тела.
- Как рассчитать кинетическую энергию.

### ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое энергия?
- Каковы единицы энергии?

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. 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 силы тяжести равна  $A = F_t h$ , а сила тяжести  $F_t = mg$ . Тогда

$$E_{\text{п}} = mgh,$$

где  $g$  — ускорение свободного падения,  $m$  — масса тела,  $h$  — высота, на которую поднято тело.

### ВАЖНО

Если обозначить величины: потенциальную энергию —  $E_{\text{п}}$ , ускорение свободного падения —  $g$ , массу тела —  $m$  и высоту, на которую поднято тело, —  $h$ , то **потенциальную энергию** рассчитывают по формуле

$$E_{\text{п}} = mgh.$$

**ОТ ЧЕГО ЗАВИСИТ КИНЕТИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ.** Обратимся 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 значительно 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.*

Из этого примера видно, что 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.**

**ВАЖНО**

Если обозначить величины: кинетическую энергию —  $E_k$ , массу тела —  $m$  и скорость движения тела —  $v$ , то **кинетическую энергию** рассчитывают по формуле

$$E_k = \frac{mv^2}{2}.$$

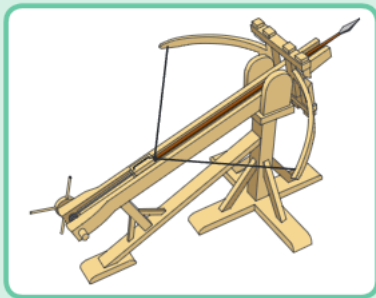
**ЭТО ИНТЕРЕСНО**

Кинетическая энергия тел с древности использовалась людьми не только для технических нужд, но и в военном деле. Стрела, выпущенная из лука, обладает достаточно большой кинетической энергией. Именно поэтому она способна пробить даже металлические латы воина. Понятие кинетической энергии позволяет объяснить принцип действия древних ударных машин — баллист и катапульт.

*Катапульти* 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.



**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, называется тормозным путём. На этом пути сила трения совершает отрицательную работу:

$$A = -F_{\text{тр}}s,$$

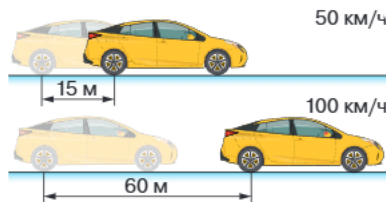
так как направления действия силы трения и движения противоположны.

Кинетическая энергия машины изменяется от максимального значения  $E_k = \frac{mv^2}{2}$  до 0. Изменение кинетической энергии также отрицательно и равно, как показывает опыт, совершённой работе:

$$\frac{mv^2}{2} = F_{\text{тр}}s.$$

Если силу трения принять постоянной для данного автомобиля, то чем больше кинетическая энергия, тем длиннее его *тормозной путь*.

Тормозной путь 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 больше 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.



Из-за большой кинетической энергии любые автомобили (и тяжёлые, и лёгкие), движущиеся с превышением скорости, представляют собой особую опасность на дороге.

**ПОЛНАЯ МЕХАНИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ ТЕЛА.** Часто тело обладает одновременно как кинетической, так и потенциальной энергией, например летящий самолёт. Сумму кинетической и потенциальной энергии тела обычно называют полной механической энергией тела:

$$E = E_{\text{п}} + E_{\text{к}}.$$

#### ВЫВОД

! Сумма кинетической и потенциальной энергии тела называется **полной механической энергией** тела.

#### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Механическая энергия; потенциальная энергия; кинетическая энергия; тормозной путь

#### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Как рассчитать потенциальную энергию поднятого над поверхностью земли тела?
2. Как рассчитать кинетическую энергию движущегося тела?
3. Что такое полная механическая энергия тела?
4. Почему легковым автомобилям разрешается ездить по автомагистралям с большей скоростью, чем грузовым?

# ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ § 73

## НОВОЕ В УРОКЕ

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.

- Что такое превращение энергии.
- Как формулируется закон сохранения энергии.

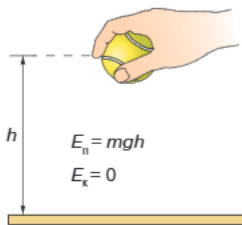
## ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое энергия?
- Какие тела обладают потенциальной энергией?
- Какие тела обладают кинетической энергией?
- Чему равна полная механическая энергия?

**ПРЕВРАЩЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ В КИНЕТИЧЕСКУЮ.** 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 перешла в его кинетическую энергию:  $E_{\text{п}} \rightarrow E_{\text{к}}$ .

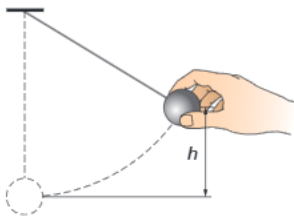


$$E_{\text{п}} = 0$$
$$E_{\text{к}} = \frac{mv^2}{2} \quad h = 0$$

$h = 0$

**ПРЕВРАЩЕНИЕ КИНЕТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ПОТЕНЦИАЛЬНУЮ.** Также можно наблюдать превращение кинетической энергии в потенциальную. Если мячик бросить 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.



Превращение 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. Таким образом, при движении маятника потенциальная энергия превращается в кинетическую и наоборот.

**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 Пизанской башне, 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 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.

Следовательно,  $E_{\text{к}} = mv^2/2 = 17\,946$  Дж, а  $E_{\text{п}} = 0$ . Получается, что вся потенциальная энергия шара перешла в его кинетическую энергию.

#### ВАЖНО

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 называется **законом сохранения энергии**.

Рассмотрим шарик, скатывающийся с наклонной поверхности. В начальный момент времени шарик обладает потенциальной энергией. Во время движения вниз потенциальная энергия шарика превращается в кинетическую. Но через некоторое время шарик останавливается, даже если поверх-

ность кажется гладкой. Означает ли это, что энергия шарика исчезла? Нет! Изменение кинетической энергии шарика обусловлено работой сил трения. Механическая энергия в этом случае превратилась в другую форму энергии (в тепло).

Кроме перехода энергии из одного вида в другой, энергия может переходить от одного тела к другому. Это очень хорошо демонстрируется при столкновениях бильярдных шаров.

## ЭТО ИНТЕРЕСНО



В научной системе М. В. Ломоносова важное место занимают формулировки законов сохранения. Впервые он сформулировал его в письме к Леонарду Эйлеру от 5 июля 1748 г.: «...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».

## ЭТО ИНТЕРЕСНО



«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*



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.

## ВЫВОД

Превращение энергии; закон сохранения энергии

КЛЮЧЕВЫЕ  
СЛОВА

И ВОПРОСЫ  
ЗАДАНИЯ

1. Как формулируется закон сохранения энергии?
2. Приведите примеры перехода одного вида механической энергии в другой.
3. Приведите примеры перехода энергии от одного тела к другому.
4. Резиновый мячик, брошенный с некоторой высоты на пол, подскочил выше уровня, с которого он был брошен. Не противоречит ли это закону сохранения энергии?

# § 74 ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

## НОВОЕ В УРОКЕ

- Какими источниками энергии издревле пользуется человечество.
- Что такое возобновляемые и невозобновляемые источники энергии.

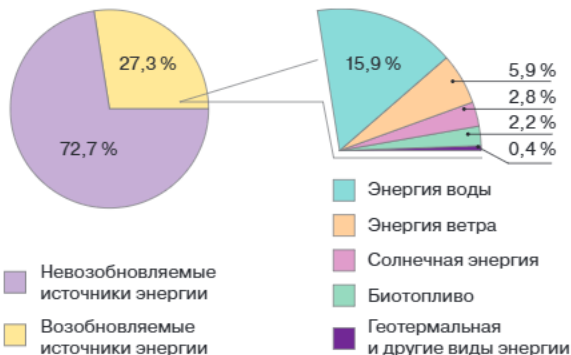
## ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое превращение энергии?
- Как формулируется закон сохранения механической 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.



## ЭТО ИНТЕРЕСНО

Одним из важнейших источников энергии является *ядерная энергетика*. Российские учёные и инженеры развивают новые технологии, которые позволят в процессе работы современных реакторов на быстрых нейтронах не только тратить ядерное топливо, но и одновременно производить новое.

**СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГИЯ.** 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.

Однако количество солнечной энергии, которое человек может потреблять для своих нужд, зависит от времени года и времени суток, а также от географического положения. *Солнечная энергия* используется для нагрева воды, отопления помещений, производства электроэнергии с помощью солнечных батарей и т. д.

**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  $50 \text{ м}$  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.

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.

#### ЭТО ИНТЕРЕСНО



Первые упоминания о водяном колесе относят к 4-му тыс. до н. э. В III в. до н. э. их стали использовать для полива сельскохозяйственных культур и подачи питьевой воды к жилью. Часто водяные колёса применяли для вращения мельничных жерновов, чтобы молоть зерно. Это были первые водяные мельницы. Вероятно, использование энергии воды в водяном колесе является одним из первых способов замены работы людей и животных на работу механизмов.

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. Гидротурбины используют на гидроэлектростанциях. Мощность крупнейших в мире гидроэлектростанций составляет  $10\text{—}20 \text{ ГВт}$ .

### ▶ ЭТО ИНТЕРЕСНО

Человечество пытается использовать механическую энергию воды, например энергию волн Мирового океана. В этом направлении сегодня ведутся интенсивные научные исследования. Несмотря на схожую природу, энергию волн принято отличать от энергии приливов и океанических 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 Кислогубская ПЭС 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 (ветряные турбины)* 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.

### ▶ ЭТО ИНТЕРЕСНО

Наши предки научились использовать энергию ветра несколько тысяч лет назад, когда был изобретён парус для лодки. Простейший парус представлял собой кусок ткани или шкуры животного, который натягивали на каркас и закрепляли на судне. Ветер оказывает давление на парус, или, другими словами, кинетическая энергия ветра передаётся лодке, и она начинает двигаться.

Первые ветряные мельницы появились во 2-м тыс. до н. э. в Древнем Вавилоне. Они использовались для помола зерна или подъёма воды. В 1 в. н. э. греческий математик и механик Герон Александрийский сконструировал ветряную мельницу, которая приводила в действие музыкальный инструмент — орган. Ветряные мельницы в том виде, в котором мы их знаем сегодня, появились примерно в VIII—IX вв. на Ближнем Востоке и в Азии, а в XI в. дошли до Европы.

Первую ветряную турбину, вырабатывающую электрическую энергию, построил в 1887 г. шотландский инженер Джеймс Блайт.

Современные турбины начинают вырабатывать энергию при скорости ветра от 1 м/с и выше. При скорости ветра 5 м/с ветряной двигатель с диаметром колеса 12 м может развить мощность 3300 Вт. Если же скорость ветра 10 м/с, а диаметр колеса 30 м, то развиваемая двигателем мощность составит 110 000 Вт.

Ветряные турбины устанавливают не только на суше, но и в больших водоёмах. Причём морские ветряные турбины могут вырабатывать значительно больше энергии, чем наземные, из-за регулярных морских ветров.

Несколько ветряных турбин, расположенных в одном месте и объединённых в единую сеть, образуют *ветряную электростанцию* (ВЭС).

**ЭТО ИНТЕРЕСНО**

Технический потенциал ветровой энергии России достаточно велик. Самой крупной ветроэлектростанцией России является Адыгейская ВЭС, которая включает в себя 60 ветряных установок и вырабатывает мощность 150 МВт. В 2020 г. в странах Европы 12 % электроэнергии производилось за счёт энергии ветра.



Источники энергии делятся на возобновляемые и невозобновляемые.

**ВЫВОД**

Энергия воды; энергия ветра; гидроэлектростанция; водяное колесо; приливная электростанция; ветряная электростанция; ветряная мельница

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

1. Какие можно привести примеры использования воды в качестве источника энергии?
2. Какие можно привести примеры использования ветра в качестве источника энергии?

## § 75 НЕВОЗМОЖНОСТЬ СОЗДАНИЯ ВЕЧНОГО ДВИГАТЕЛЯ

### НОВОЕ В УРОКЕ

- Что такое вечный двигатель.
- Почему невозможно создание вечного двигателя.

### ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое превращение энергии?
- В чём состоит закон сохранения энергии?

С давних пор люди хотели создать неисчерпаемый, самовозобновляющийся источник энергии — **вечный двигатель** (лат. *perpetuum mobile*).

**ВЕЧНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ.** Механизм, безостановочно двигающий сам 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* (*perpetuum mobile*), но ни один из них не действовал так, как планировалось изначально.

Неправильное понимание физических законов, действующих в каждой конкретной конструкции, а также всеобщего характера закона сохранения энергии и приводило в конечном счёте к краху самой идеи вечного двигателя.

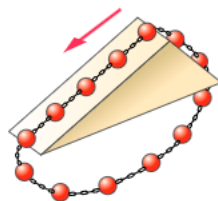
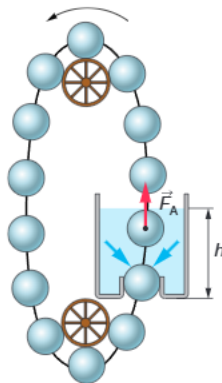
**МЕЧТА О ВЕЧНОМ ДВИГАТЕЛЕ.** К концу XVIII в. укрепилось убеждение в невозможности создания вечного двигателя, и с 1775 г. Французская академия наук отказалась рассматривать подобные проекты. В середине XIX в., с установлением закона сохранения энергии, была доказана принципиальная неосуществимость 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 спрятан 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 механизмы, работающие за счёт природных источников энергии (солнечной, гидро-, ветроэнергии 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.



**НЕУРАВНОВЕШЕННЫЕ ГРУЗЫ И ВЕЧНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ.** Идея использования неуровновешенных грузов для конструкции вечного двигателя оказалась настолько заманчивой, что развенчать её удалось только к началу XVII в. нидерландскому математику и механику Симону Стевину.

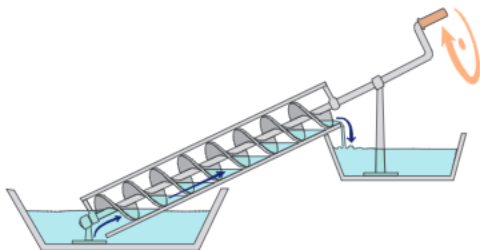
В самом простом случае замкнутую цепочку шаров располагают так, чтобы они оказались неуровновешенными и способными скользить друг за другом. Предполагалось, что при скольжении одни шары будут тянуть за собой другие и движение будет бесконечным.

Основная ошибка в рассуждениях заключается в следующем. Если шары находятся в неуровновешенном состоянии, то они должны двигаться с ускорением и разогнаться до бесконечно большой скорости, что на практике совершенно невозможно. Следовательно, малое количество шаров может уравновесить большее количество шаров, всё дело здесь в правильном учёте действующих сил, включая силу трения, и умении правильно их определять.



Симон Стевин  
(1548—1620)

**АРХИМЕДОВ ВИНТ И ВЕЧНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ.** Ещё один проект вечного двигателя использует такое устройство, как *архимедов винт* (сейчас он применяется, в частности, в мясорубках).

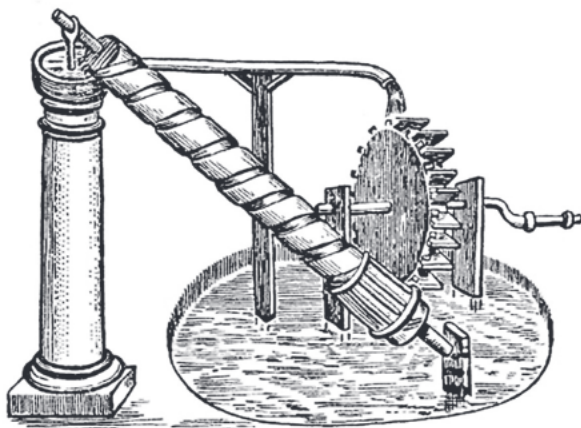


Принцип работы этого «вечного» двигателя заключается в следующем.

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 двигатель останавливается.



#### Вывод

! Неправильное понимание физических законов, действующих в каждой конкретной конструкции, а также общности закона сохранения энергии каждый раз приводило к отказу от самой идеи вечного двигателя.

#### Ключевые слова

Вечный двигатель

#### Вопросы и задания

1. Почему невозможно создание вечного двигателя?
2. Какое влияние оказали многочисленные попытки создания вечного двигателя на всё дальнейшее развитие механики?

## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ § 76

- **ЗАДАЧА 1.** Парашютист с раскрытым парашютом на высоте 600 м имеет скорость 5 м/с. Масса парашютиста со снаряжением равна 85 кг. Чему равны потенциальная, кинетическая и полная механическая энергия парашютиста на заданной высоте?

Дано:  
 $h = 600$  м  
 $v = 5$  м/с  
 $m = 85$  кг

$E_{\text{п}}$  — ?  
 $E_{\text{к}}$  — ?  
 $E$  — ?

Решение.

$$E_{\text{п}} = mgh;$$

$$E_{\text{п}} = 85 \text{ кг} \cdot 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 600 \text{ м} = 510\,000 \text{ Дж} = 510 \text{ кДж.}$$

$$E_{\text{к}} = \frac{mv^2}{2};$$

$$E_{\text{к}} = \frac{85 \text{ кг} \cdot \left(5 \frac{\text{м}}{\text{с}}\right)^2}{2} = 1062,5 \text{ Дж.}$$

$$E = E_{\text{п}} + E_{\text{к}};$$

$$E = 510\,000 \text{ Дж} + 1062,5 \text{ Дж} \approx 511 \text{ кДж.}$$

Ответ: 510 кДж; 1062,5 Дж; 511 кДж.

- **ЗАДАЧА 2.** Мячик падает с высоты 25 м. Определите его скорость в момент падения на землю. Сопротивлением воздуха пренебречь.

Дано:  
 $h = 25$  м

$v$  — ?

Решение.

Мячик на высоте  $h = 25$  м обладает потенциальной энергией  $E_{\text{п}} = mgh$ , его кинетическая энергия в этот момент равна нулю.

В момент падения потенциальная энергия мяча равна нулю, а кинетическая энергия  $E_{\text{к}} = \frac{mv^2}{2}$ .

Из закона сохранения энергии следует, что потенциальная энергия мяча, поднятого над землёй, превращается в его кинетическую энергию в момент приземления:

$$mgh = \frac{mv^2}{2}.$$

$$\text{Тогда } v = \sqrt{2gh}.$$

$$v = \sqrt{2 \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 25 \text{ м}} \approx 22 \text{ м/с.}$$

Ответ: 22 м/с.

- **ЗАДАЧА 3.** Машина массой 5000 кг, движущаяся со скоростью 20 м/с, тормозит перед светофором. Рассчитайте тормозной путь автомобиля от начала торможения до полной остановки. Коэффициент трения между шинами и дорогой составляет 0,3.

Дано:  
 $m = 5000$  кг  
 $v_1 = 20$  м/с  
 $v_2 = 0$   
 $\mu = 0,3$   
 $s = ?$

Решение.

Изменение кинетической энергии при торможении равно работе силы трения:

$$\Delta E_k = E_{k2} - E_{k1} = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} = -\frac{mv_1^2}{2};$$

$$A = -F_{\text{тр}}s, \text{ где } F_{\text{тр}} = \mu N = \mu mg.$$

$$\text{Тогда } -\frac{mv_1^2}{2} = -\mu mgs;$$

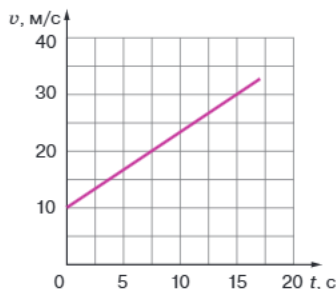
$$s = \frac{v_1^2}{2\mu g};$$

$$s = \frac{\left(20 \frac{\text{м}}{\text{с}}\right)^2}{2 \cdot 0,3 \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} \approx 67 \text{ м.}$$

Ответ: 67 м.

○ **ЗАДАЧА 4.** На рисунке показан график зависимости скорости автомобиля от времени. На сколько изменилась кинетическая энергия автомобиля за 15 с от начала наблюдения? Масса автомобиля 4000 кг.

Дано:  
 $t = 15$  с  
 $m = 4000$  кг  
 $\Delta E_k = ?$



Решение.

По графику определим, что в начальный момент времени скорость автомобиля равна  $v_1 = 10$  м/с.

Через 15 с скорость автомобиля станет  $v_2 = 30$  м/с.

Изменение кинетической энергии за указанное время:

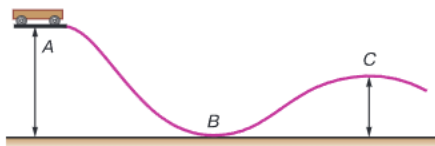
$$\Delta E_k = E_{k2} - E_{k1} = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} = \frac{m}{2}(v_2^2 - v_1^2).$$

$$\Delta E_k = \frac{4000 \text{ кг}}{2} \cdot \left( \left(30 \frac{\text{м}}{\text{с}}\right)^2 - \left(10 \frac{\text{м}}{\text{с}}\right)^2 \right) = 1,6 \text{ МДж.}$$

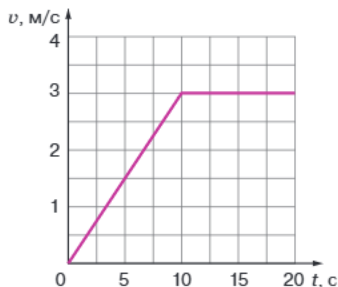
Ответ: 1,6 МДж.

**Задачи для самостоятельного решения**

- 1 Что обладает большей потенциальной энергией: тело массой 2 кг, поднятое на высоту 5 м, или тело массой 10 кг, поднятое на высоту 1,5 м?
- 2 Определите потенциальную энергию 50 м<sup>3</sup> воды, поднятой плотиной на высоту 45 м.
- 3 Мяч массой 2 кг брошен вертикально вниз с высоты 10 м с начальной скоростью 3 м/с. Сравните кинетическую энергию мяча на высоте 4 м и в момент падения. Сопротивление воздуха не учитывайте.
- 4 С какой начальной скоростью нужно бросить вниз мяч с высоты 80 см, чтобы после отскока от земли он подпрыгнул до высоты 1,3 м? Потери энергии не учитывайте.
- 5 Каскадёр делает трюки, катаясь на скейтборде по специальной площадке. Высота трассы в точке А равна 3 м, а в точке С — 1 м. Определите скорость каскадёра в точках В и С. Начальная скорость каскадёра в точке А равна нулю. Трение не учитывайте.



- 6 Тормозной путь автомобиля, движущегося со скоростью 50 км/ч, составляет 30 м. Вычислите тормозной путь автомобиля, если он будет двигаться со скоростью 120 км/ч.
- 7 На рисунке показан график зависимости скорости тележки от времени. На сколько изменилась кинетическая энергия тележки за 10 с от начала движения; за 20 с от начала движения? Масса тележки 5 кг.



## § 77 ЛАБОРАТОРНЫЕ И ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ

### Лабораторная работа № 11

Изучение изменения потенциальной и кинетической энергии тела при движении по наклонной плоскости

#### Цель работы

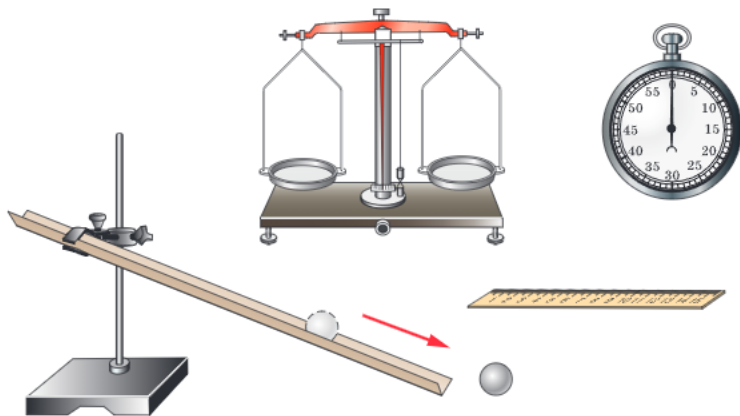
Определить изменение потенциальной и кинетической энергии шарика, движущегося по наклонной плоскости; проверить выполнение закона сохранения энергии.

#### Оборудование и материалы

Штатив, жёлоб, шарик, весы с разновесами, линейка, секундомер.

#### Ход работы

- Укрепите жёлоб в наклонном положении при помощи штатива.



- Измерьте массу  $m$  шарика на рычажных весах.
- Положите шарик в верхнюю точку жёлоба и отпустите шарик. С помощью секундомера определите время  $t$ , в течение которого шарик, скатившись с жёлоба, катится по горизонтальной поверхности практически с постоянной скоростью.
- С помощью линейки измерьте путь  $s$ , который проделал шарик на горизонтальном участке пути.
- Считая движение шарика по горизонтальному участку пути равномерным, вычислите скорость  $v$  движения шарика.
- Чему равна кинетическая энергия  $E_{к1}$  шарика в верхней точке жёлоба?

- Вычислите кинетическую энергию поступательного движения шарика в нижней точке жёлоба:

$$E_{к2} = \frac{mv^2}{2}.$$

- Определите изменение кинетической энергии:

$$\Delta E_k = E_{к2} - E_{к1}.$$

- Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу в своей тетради.

$m$ , кг	$t$ , с	$s$ , м	$v$ , м/с	$E_{к1}$ , Дж	$E_{к2}$ , Дж	$\Delta E_k$ , Дж

- С помощью линейки измерьте высоту  $h$ , на которую поднят край жёлоба.
- Вычислите потенциальную энергию шарика в верхней точке жёлоба:

$$E_{п1} = mgh.$$

- Чему равна потенциальная энергия  $E_{п2}$  шарика в нижней точке жёлоба?
- Определите изменение потенциальной энергии:

$$\Delta E_n = E_{п2} - E_{п1}.$$

- Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу в своей тетради.

$h$ , м	$E_{п1}$ , Дж	$E_{п2}$ , Дж	$\Delta E_n$ , Дж

- Сравните сумму потенциальной и кинетической энергии шарика в верхней точке жёлоба с суммой потенциальной и кинетической энергии в нижней точке жёлоба. Объясните полученные результаты.
- Сравните значение изменения потенциальной и кинетической энергии шарика. Чем можно объяснить различие в полученных результатах изменения потенциальной и кинетической энергии?
- Сделайте выводы.

### Практическая работа-исследование

#### Изучаем работу и мощность

Как вы уже знаете, когда речь идёт о механической работе, всегда подразумевается сила, которая эту работу совершает. Если мы поднимаемся или спускаемся по лестнице, сила тяжести совершает механическую работу. Зависит ли совершённая работа от скорости нашего движения? А какую мощность способен развить человек при подъёме или спуске по лестнице?

## ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ РАБОТЫ И МОЩНОСТИ

### Цель работы

Определить механическую работу и мощность при подъёме и спуске по лестнице и сравнить результаты, полученные при разных скоростях движения человека.

### ПОМОЩНИК

- В качестве оборудования можно использовать линейку, секундомер, напольные весы, а практическую работу проводить на лестничной площадке, содержащей не менее трёх пролётов.

**Ход работы**

- С помощью весов измерьте массу  $m$  своего тела.
- С помощью линейки измерьте высоту  $h$  одной ступеньки. Посчитайте количество  $N$  ступенек между первым и третьим этажами. Определите расстояние  $s$  между этажами, умножив количество ступенек на высоту одной ступеньки.
- Определите время  $t$ , в течение которого вы поднимаетесь с первого этажа на третий, двигаясь с привычной для вас скоростью (измерение № 1).
- Сила ваших мышц совершила работу против силы тяжести. Вычислите работу, совершённую силой тяжести при подъёме с первого этажа на третий:

$$A = mgs.$$

$m$ , кг	$h$ , м	$N$	$s$ , м	$A$ , Дж

- Вычислите мощность, развиваемую вами при подъёме с первого этажа на третий:

$$N = \frac{A}{t}.$$

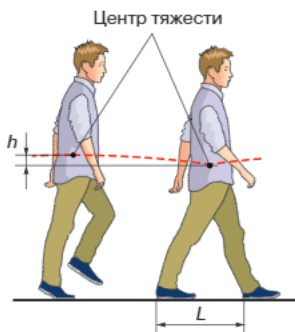
- Определите время  $t$ , в течение которого вы спускаетесь с третьего этажа на первый (измерение № 2).
- Вычислите мощность, развиваемую вами при спуске.
- Повторите измерение времени, затраченного на подъём и спуск, двигаясь с большей скоростью (или бегом) (измерения № 3 и 4).
- Вычислите мощности, развиваемые вами при подъёме и спуске.

Номер измерения	$t$ , с	$N$ , Вт
1. Подъём		
2. Спуск		

- Сравните развиваемую вами мощность.
  - А) Во сколько раз мощность, полученная при измерениях № 2, 3, 4, больше мощности, полученной при измерении № 1?
  - Б) На сколько процентов отличается мощность, полученная в измерениях № 2, 3, 4, от мощности, полученной при измерении № 1?
- Повторите процедуры измерения времени, затраченного на подъём с первого этажа на пятый и спуск обратно, двигаясь с привычной для вас скоростью (измерения № 5 и 6).
- Вычислите мощность, развиваемую вами при подъёме и при спуске.
- Сравните полученные вами результаты с результатами измерений № 1 и 2.
- Сделайте выводы.

**ФИЗИКА НА ПРОГУЛКЕ**

На уроке физики, подводя итоги темы, посвящённой механической работе и мощности, учитель поставил перед учащимися задачу об оценке мощности, которую развивает человек при ходьбе. Как пояснил учитель, мы можем перемещаться *только благодаря* тому, что между подошвами нашей обуви и дорогой существует трение. Но это сила *трения покоя*, точка приложения которой не перемещается относительно дороги (проскальзывание отсутствует). Следовательно, сила трения покоя работу совершать не может. Поэтому, подчеркнул учитель, для оценки мощности нужно использовать другой подход, учитывая тот факт, что, когда человек делает шаг, он несколько приподнимается на пальцах своих ног. При этом мышцы ног человека совершают работу против силы тяжести.



**НАУЧНАЯ СПРАВКА** Любое реальное тело, обладающее конечными размерами и массой, можно рассматривать как совокупность составляющих его частей. На каждую из этих частей в отдельности действует сила тяжести. Сила тяжести, которая действует на тело в целом, является равнодействующей этих сил. Точку приложения этой равнодействующей называют **центром тяжести тела**. Когда человек делает шаг, его центр тяжести поднимается на некоторую высоту  $h$  и движется по криволинейной траектории. Для решения поставленной учителем задачи потребуются ввести ряд физических величин.

**ПОМОЩНИК**

- Поскольку работа, совершаемая человеком при ходьбе, зависит от его массы, примем, что масса среднестатистического человека  $m \approx 70$  кг.
- Мощность, развиваемая человеком при ходьбе, зависит также от скорости  $v$  ходьбы. Для оценки при среднем темпе ходьбы можно принять значение  $v \approx 5$  км/ч ( $v \approx 1,4$  м/с).
- За время  $\Delta t$  (например,  $\Delta t = 1$  мин) при длине шага  $L \approx 0,6-0,7$  м человек делает  $n$  шагов:  $n = \frac{s}{L} = \frac{v\Delta t}{L}$ , где  $s$  — путь, пройденный человеком за время  $\Delta t$ .
- Поскольку за 1 шаг человек совершает работу, равную  $mgh$ , то работа за указанное время пропорциональна количеству сделанных шагов и равна  $A = nmgh$ .
- Для человека среднего роста (по современным данным, порядка 175—180 см) в качестве оценки изменения положения его центра тяжести при ходьбе можно принять значение  $h \approx 3-4$  см.
- Принимая во внимание введённые выше физические величины, получите выражение для средней мощности  $N_{\text{ср}}$ .

**Подсказка:**  $N_{\text{ср}}$  не должно зависеть от временного интервала  $\Delta t$ .

- Подумайте, насколько увеличивается мощность, развиваемая человеком при беге средним темпом. Значения параметров  $L$  и  $h$  оцените самостоятельно.
- Сделайте выводы.

## ПОДВЕДЁМ 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.
- Энергия, которая определяется взаимным положением взаимодействующих тел или частей одного и того же тела, называется потенциальной энергией.
- Энергия, которой обладает тело вследствие своего движения, называется кинетической энергией.
- Сумма кинетической и потенциальной энергии тела называется полной механической энергией тела.
- 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.
- Неправильное понимание физических законов, действующих в каждой конкретной конструкции, а также общности закона сохранения энергии каждый раз приводило к отказу от самой идеи вечного двигателя.

### 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?

### Темы исследовательских и проектных работ

- Работа и мощность в живой природе.
- Самые мощные машины.
- Откуда берётся и куда девается энергия.
- Природные источники энергии.
- Источники энергии на Земле.
- Источники энергии в космосе.
- Источники энергии для бытовых устройств.
- История перпетуум-мобиле.

# Глава 9

## ПРОСТЫЕ МЕХАНИЗМЫ. «ЗОЛОТОЕ ПРАВИЛО» МЕХАНИКИ

Дайте мне точку опоры, и я переверну  
Землю!

*Архимед*



## § 78 РЫЧАГ. УСЛОВИЕ РАВНОВЕСИЯ РЫЧАГА

### НОВОЕ В УРОКЕ

- Что такое простые механизмы.
- Что такое рычаг.
- Что называют плечом силы.
- Что такое момент силы.
- В чём состоит правило равновесия рычага.

### ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое сила?

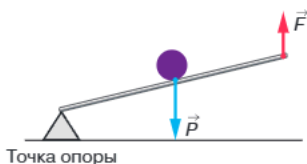
С древних времён для облегчения своего труда человек использует различные механизмы (от греч. *mechane* — машина, орудие). Эти приспособления использовались людьми в строительстве, прокладке дорог, военном деле.

**ПРОСТЫЕ МЕХАНИЗМЫ.** Приспособления, необходимые для того, чтобы изменить направление или модуль силы, 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.

### ЭТО ИНТЕРЕСНО

Известно, что при строительстве египетских пирамид широко использовались рычаги и наклонные плоскости. Рычаги использовались и в военном деле. Как свидетельствовал Плутарх, сконструированные Архимедом «железные лапы» и металлические орудия сыграли большую роль при обороне Сиракуз.

**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 точкой опоры или осью вращения.



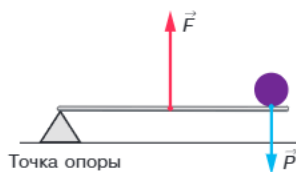
Различают несколько видов рычагов в зависимости от взаимного расположения точки опоры и точек приложения сил.

В *рычаге 1-го рода* точка опоры располагается между точками приложения сил. Примерами рычага 1-го рода являются качели, ножницы, рычажные весы и т. д.

В *рычаге 2-го рода* точка опоры располагается по одну сторону от точек приложения сил. Причём сила, которую прикладывает к рычагу человек, располагается дальше от точки опоры, чем вес груза. Примерами рычага 2-го рода являются тачка, щипцы для колки орехов и т. д.

В обоих случаях сила, с которой человек действует на рычаг, меньше веса груза, именно поэтому говорят о *выигрыше в силе*.

Выделяют также *рычаги 3-го рода*, в которых точка опоры так же, как и в рычагах 2-го рода, располагается по одну сторону от точек приложения силы. Но, в отличие от рычага 2-го рода, в рычаге 3-го рода точка приложения силы, которую прикладывает человек, находится между точкой опоры и точкой приложения веса груза. В этом случае прикладываемая сила должна быть больше веса груза, т. е. происходит *проигрыш в силе*. Примерами данного типа рычага являются пинцет, степлер, удочка и т. д.

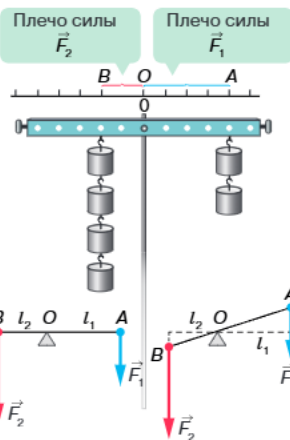


Рычаг 3-го рода

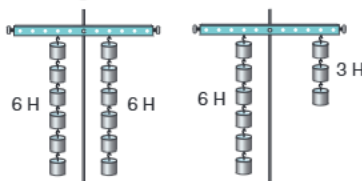
**ПЛЕЧО СИЛЫ.** Рассмотрим простой пример действия силы. Легко открыть дверь, приложив небольшую силу к дверной ручке. Но потребуются значительная сила, если мы захотим открыть дверь, приложив эту силу вблизи от оси вращения двери. Значит, результат действия силы на тело с неподвижной осью вращения зависит 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*.

Итак, для рычага плечо силы — 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.



**ИССЛЕДОВАНИЕ**

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 силы на плечо силы:

$$F_1 l_1 = F_2 l_2.$$

Из этого равенства следует, что малая сила, приложенная к большему плечу рычага, может уравновесить большую силу, приложенную к малому плечу рычага. Именно поэтому при использовании, например, гаечного ключа или топора с длинной ручкой нужно прикладывать меньшую силу, чем при работе с подобными инструментами, но с короткой ручкой.

**МОМЕНТ СИЛЫ И ПРАВИЛО МОМЕНТОВ.** Произведение модуля силы, действующей на тело, на её плечо называется моментом силы:

$$M = Fl.$$

За единицу момента силы принимают момент силы в 1 Н, плечо которой равно 1 м. Эта единица называется *ньютон-метром* (Н · м):

$$1 \text{ Н} \cdot \text{м} = 1 \text{ Н} \cdot 1 \text{ м}.$$

**ВАЖНО** ⚠

Рычаг находится в равновесии, если силы, действующие на него, обратно пропорциональны плечам этих сил:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}.$$

Момент силы, вращающий его по часовой стрелке, равен моменту силы, вращающей его против часовой стрелки:

$$M_1 = M_2.$$

Это правило называется **правилом моментов**.

**Выводы**

- ! Простые механизмы применяют для того, чтобы получить выигрыш в силе, т. е. увеличить силу, действующую на тело.
- ! Рычаг находится в равновесии, если силы, действующие на него, обратно пропорциональны плечам этих сил.

**Ключевые слова**

Рычаг; выигрыш в силе; правило равновесия рычага; момент силы; правило моментов

**Вопросы и задания**

1. Какие устройства называются простыми механизмами и с какой целью они используются?
2. Что представляет собой рычаг и в чём заключается правило равновесия рычага?
3. Почему дверные ручки устанавливают вдали от петель, на которые вешают дверь?
4. Груз несут на палке, перекинутой через плечо. Как влияет положение груза (ближе или дальше от плеча) на силу, с которой палка действует на плечо, и на ту силу, с которой рука должна удерживать палку в равновесии?

# ЦЕНТР ТЯЖЕСТИ И РАВНОВЕСИЕ ТЕЛ § 79

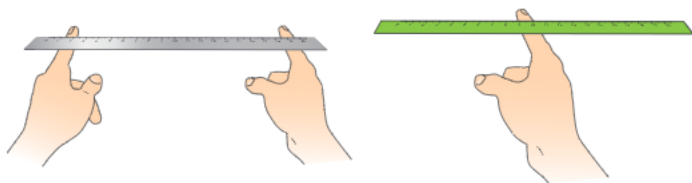
## НОВОЕ В УРОКЕ

- Что такое центр тяжести.
- Как найти центр тяжести.
- Как положение центра тяжести влияет на равновесие тела.

## ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

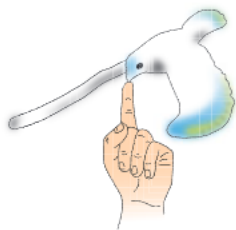
- Что такое сила тяжести?

Линейка, находящаяся на двух точках опоры, например на двух пальцах рук, находится в равновесии и не падает. Но чтобы удерживать линейку одним пальцем, нужно палец расположить в определённой точке, которая находится в середине линейки.



**ЦЕНТР ТЯЖЕСТИ.** Любое физическое тело, обладающее конечными размерами и массой, можно рассматривать как совокупность составляющих его частей. На каждую из этих частей в отдельности действует сила тяжести. Сила тяжести, которая действует на тело в целом, является равнодействующей этих сил. Точку приложения этой равнодействующей принято называть центром тяжести тела.

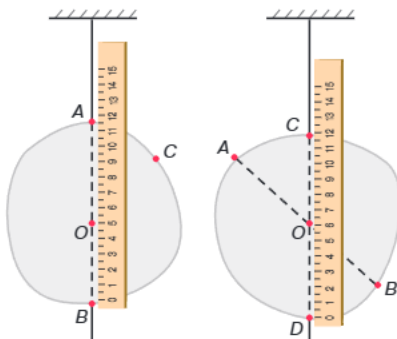
Если точка опоры тела совпадает с его центром тяжести, то тело находится в равновесии. Например, такая игрушка, как птица-баланси́р, способна удерживать равновесие, если поставить её клювом на какую-либо опору. Это означает, что центр тяжести этой игрушки находится вблизи клюва.



## ЭТО ИНТЕРЕСНО

Понятие центра тяжести было впервые введено великим древнегреческим учёным и инженером Архимедом. Архимед доказывал, что в любом теле существует такая точка, что «если за неё мысленно подвесить тяжёлое тело, то оно останется в покое и сохранит первоначальное положение». В своём труде «О равновесии плоских фигур» Архимед описывал, как рассчитать центры тяжести плоских фигур: треугольника, параллелограмма, трапеции и т. д. В этом сочинении Архимед также впервые объяснил принципы работы и условия равновесия рычага. Данные открытия привели учёного к изобретению различных сложных механизмов, которые облегчали подъём и перемещение тяжёлых грузов.

**ГДЕ НАХОДИТСЯ ЦЕНТР ТЯЖЕСТИ.** Если тело имеет шарообразную форму и состоит из однородного материала, то его центр тяжести находится в точке, являющейся центром шара. В плоском теле, имеющем форму прямо-

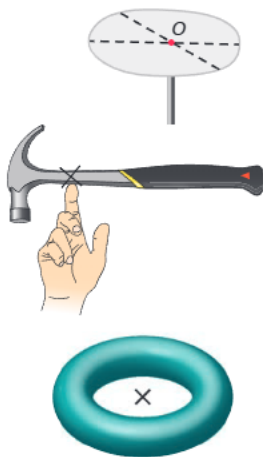


к центру тяжести тела, то центр тяжести находится на прямой, вдоль которой действуют силы. С помощью отвеса проведём на фигуре вертикальную линию  $AB$ . На этой линии находится центр тяжести тела.

Переместим точку крепления нити в другое положение  $C$  и проведём вертикаль  $CD$ . В этом случае центр тяжести тела находится на линии  $CD$ . Если повторить опыт с другими положениями точки подвеса, то мы получим линии, которые пересекутся в точке  $O$ . Точка  $O$  и является центром тяжести тела. Если это тело установить на острие карандаша с опорой в найденном центре тяжести, оно окажется в равновесии.

Центр тяжести тела, состоящего из нескольких частей с различными плотностями, смещён по сравнению с положением центра тяжести однородного тела точно такой же формы. Например, у молотка центр тяжести смещён в сторону его металлической головки.

В некоторых случаях центр тяжести может находиться вне тела. Например, центр тяжести кольца или обода колеса находится в центре, на пересечении его диаметров, а центр тяжести табурета — в области между его ножками.

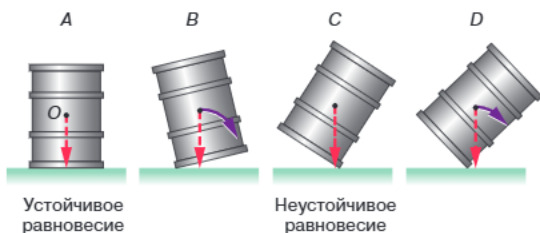


**ЦЕНТР ТЯЖЕСТИ И РАВНОВЕСИЕ ТЕЛ.** От положения центра тяжести зависит устойчивость тела — его возможность сохранять состояние равновесия при внешнем воздействии. Чем ниже центр тяжести, тем тело более устойчиво, и наоборот, чем выше центр тяжести, тем тело менее устойчиво и может опрокинуться или перевернуться, если его толкнуть. Например, инженеры проектируют гоночные автомобили таким образом, чтобы они имели центр тяжести как можно ближе к дороге. Такая конструкция является устойчивой при движении и позволяет проходить крутые повороты на больших скоростях. Для большей устойчивости автобусов багажное отделение делают в нижней части, а не на крыше.

Также на устойчивость влияет площадь опоры тела: чем больше площадь опоры, тем устойчивее тело. Если тело наклонить, то оно может либо вернуться в исходное положение, либо опрокинуться.

угольника, центр тяжести находится в точке пересечения диагоналей, а в плоском теле треугольной формы — в точке пересечения медиан.

Рассмотрим, как найти центр тяжести плоского тела произвольной формы. Вырежем из картона фигуру и подвесим её за нить, прикреплённую к произвольной точке  $A$  фигуры. На тело действуют сила тяжести и сила упругости со стороны нити, которые уравновешивают друг друга, так как тело находится в состоянии покоя. При этом сила тяжести и сила упругости действуют вдоль одной прямой. А так как сила тяжести приложена



Устойчивое равновесие

Неустойчивое равновесие

Рассмотрим тело в форме цилиндра, стоящее на опоре. Тело находится в состоянии равновесия (рис. А), и его центр тяжести расположен над опорой. Если тело немного наклонить (рис. В), то вертикаль, проведённая через центр тяжести, будет проходить через площадь опоры. В этом случае тело вернётся в положение равновесия А. При дальнейшем увеличении угла наклона создаётся критическая ситуация, когда вертикаль, проведённая через центр тяжести, проходит через границу опоры (рис. С). В этом случае достаточно небольшого усилия, чтобы вернуть тело в положение равновесия или опрокинуть. При большем угле наклона вертикаль, проведённая через центр тяжести, выходит за пределы опоры. В этом случае тело упадёт.

ЭТО ИНТЕРЕСНО

Среди уличных артистов распространён трюк, в котором человек парит в воздухе, одной рукой опираясь на посох. Этот фокус объясняется особой конструкцией, состоящей из жёсткой плиты-основания, посоха, двух балок, проходящих через рукав и соединяющихся с подставкой-сиденьем. Устойчивость конструкции обеспечивается за счёт того, что её центр тяжести находится на вертикали, проходящей через плиту-основание.



Точку приложения равнодействующей сил тяжести, действующей на все части тела, называют центром тяжести тела.

Вывод

Центр тяжести; равновесие тела

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Что называют центром тяжести тела?
2. Как найти центр тяжести плоской фигуры?
3. Как центр тяжести влияет на устойчивость тела?
4. В цилиндрический стакан постепенно наливают воду. Как будет изменяться положение центра тяжести системы «стакан — вода»?

## § 80 РЫЧАГИ В ПРИРОДЕ, БЫТУ И ТЕХНИКЕ

### НОВОЕ В УРОКЕ

- Как применяется правило равновесия рычага в природе, быту и технике.

### ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое рычаг?
- Чем различаются виды рычагов?
- В чём состоит правило равновесия рычага?

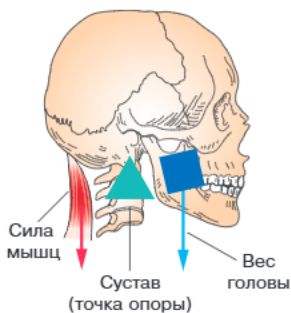
Правило равновесия рычага лежит в основе действия различного рода инструментов и устройств, применяемых в нашей жизни там, где требуется выигрыш в силе или в пути. Кроме этого, множество рычагов существует в теле животных и человека.

**РЫЧАГИ В ТЕЛЕ ЧЕЛОВЕКА.** Движения рук, ног, головы происходят благодаря работе различных типов рычагов в теле человека. При этом кости скелета действуют как сам рычаг, суставы являются осью вращения, или точкой опоры, а мышцы прикладывают силу для перемещения той или иной части тела. В зависимости от расположения суставов и мышц, прикрепленных к костям скелета, в теле человека присутствуют рычаги 1, 2 и 3-го рода.

Рычаг 1-го рода помогает при движении головы вверх или вниз. При этом сустав между головой и первым позвонком выполняет роль точки опоры. В обычном положении головы этот рычаг находится в равновесии: сила мышц, прикрепленных к черепу, уравновешивается весом головы. Когда мышцы расслабляются (сила уменьшается), голова наклоняется вниз.

Рычаг 2-го рода действует, когда человек встаёт на цыпочки. В этом случае точка опоры находится в суставах пальцев ног, а рычагом являются ступни. За счёт более длинного плеча между точкой опоры и точкой приложения мышечной силы этот рычаг обеспечивает выигрыш в силе. Небольшая сила икроножных мышц способна приподнять вес всего тела.

Примером работы рычага 3-го рода в теле человека является сгибание и разгибание руки. Точка опоры рычага находится в локтевом суставе. Действующей силой является сила двуглавой мышцы (бицепс), которая прикрепляется к бугорку лучевой кости. Преодолеваемым сопротивлением является вес груза, приложенный к кисти. В этом случае мышечная сила приложена к короткому плечу рычага, поэтому она должна быть в несколь-



Рычаг 1-го рода



Рычаг 2-го рода

ко раз больше веса нагрузки, т. е. здесь имеет место проигрыш в силе. Но при этом небольшое сокращение мышцы приводит к значительному перемещению точки приложения веса нагрузки. Это означает, что мы получаем выигрыш в расстоянии.

**РЫЧАГИ В ПРИРОДЕ.** В теле различных животных, так же как и в теле человека, действуют рычаги. Например, крылья птиц и насекомых действуют как рычаг. Рычагами являются подвижные когти и челюсти у хищников. Некоторые животные имеют короткие лапы, чтобы при большом усилии развивать малую скорость (например, так крот раскапывает землю). Другие животные, наоборот, имеют длинные конечности, которые дают возможность при небольшом усилии быстро двигаться.

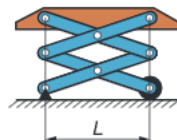
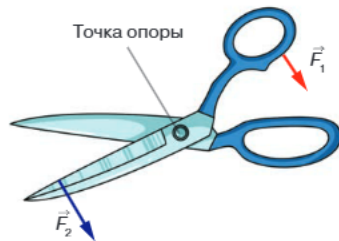
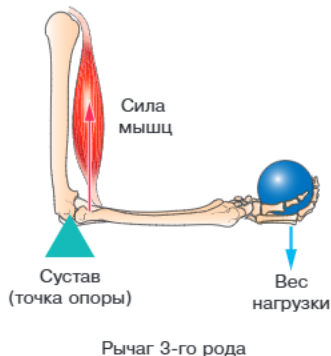
В растительном мире рычаги встречаются реже. Примером рычага является ствол дерева и его корни. При сильном ветре корни, уходящие глубоко в землю, оказывают сопротивление и помогают сохранять устойчивость. Чем глубже корни дерева уходят в землю, тем труднее его вывернуть с корнем.

**РЫЧАГИ ВОКРУГ НАС.** Мы постоянно используем в нашей жизни различные инструменты и приспособления, в основе которых лежит принцип рычага, и даже не задумываемся об этом.

*Рычажные весы* — это простейший рычаг 1-го рода, где силы — это веса грузов.

В *ножницах* используются два рычага 1-го рода. Точкой опоры является винт, соединяющий обе части ножниц. Рассмотрим силы, действующие на одну часть ножниц. Мы прикладываем силу  $\vec{F}_1$  с одной стороны от точки опоры к ручке ножниц, а с другой стороны от точки опоры на лезвия действует сила  $\vec{F}_2$  сопротивления разрезаемого материала. Точно такие же силы действуют и на вторую часть ножниц. При этом положение винта (точки опоры) зависит от вида ножниц. Для резки бумаги, когда не требуется прикладывать больших усилий, длина лезвий и длина ручек примерно одинакова. А для резки металла применяются ножницы с короткими лезвиями и длинными ручками, что обеспечивает большой выигрыш в силе.

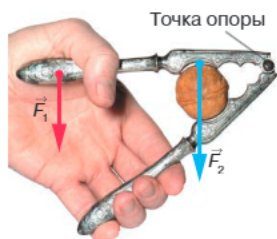
Система из нескольких рычагов применяется при работе *ножничных механизмов*, которые часто используются как подъёмники. Рычаги, установленные крест-накрест, как в ножницах, перемещаются вверх или вниз и поднимают либо опускают несущую платформу. Например, воздействуя внешней силой на концы рычага и уменьшая расстояние  $L$  между опорами, можно заставить платформу с грузом подниматься. При увеличении расстояния  $L$  платформа будет опускаться.



Весло для гребли также действует по принципу рычага 1-го рода. Оно крепится к борту лодки в точке опоры. При этом человек прикладывает усилие к короткому плечу рычага, а на длинное плечо действует сила сопротивления воды. В этом случае мы получаем проигрыш в силе.

На принципе рычага 1-го рода основана работа таких сложных технических устройств, как строительный кран, экскаватор, нефтяная вышка для добычи нефти и т. д.

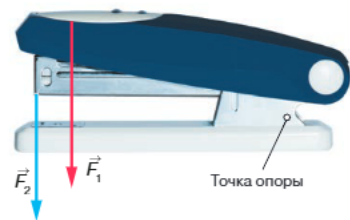
По такому же принципу работают консервный нож, плоскогубцы, щипцы, гвоздодёр и др.



Кухонные приспособления, такие как орехокол, пресс для чеснока, используют по два рычага 2-го рода. Рука прикладывает силу  $\vec{F}_1$  к ручкам инструмента, а увеличенная сила  $\vec{F}_2$  действует на орех или другой предмет, помещённый между точкой опоры и точкой приложения силы  $\vec{F}_1$ .

В открывалке для бутылок также используется рычаг 2-го рода. Точка опоры находится на конце открывалки, которая упирается в крышку. Человек прикладывает усилие к ручке, а увеличенная рычагом сила действует на крышку бутылки, помогая её открыть.

Различные двери в помещении, дверцы мебели или в автомобиле, дверцы бытовых приборов открываются по принципу рычага 2-го рода. Тачки, чемоданы и сумки на колёсах также относятся к этому типу рычага.



Пинцет, щипцы, степлер — это примеры рычагов 3-го рода. Усилие прикладывается между точкой опоры и нагрузкой, что приводит к проигрышу в силе, но выигрышу в расстоянии. Когда мы держим ложку, пишем ручкой или работаем различными инструментами: лопатой, граблями, метлой, держим в руках удочку, хоккейную клюшку или клюшку для гольфа, мы используем рычаги 3-го рода.

## Вывод

! Рычаги используются в теле человека и животных, в растительном мире, а также в быту и технике.

## Ключевые слова

Рычаг; выигрыш в силе; правило равновесия рычага

## Вопросы и задания

1. Приведите примеры использования рычагов различных типов в природе, быту и технике.
2. Почему для резки бумаги и тканей применяются ножницы с короткими ручками и длинными лезвиями, а для резки листового металла — с длинными ручками и короткими лезвиями?
3. Зачем на тракторах-стогометателях перед работой закрепляют противовесы?

# НАКЛОННАЯ ПЛОСКОСТЬ § 81

## НОВОЕ В УРОКЕ

Если нужно поднять или опустить тяжёлый груз, можно использовать такой простой механизм, как наклонная плоскость.

- Что такое наклонная плоскость.
- Какой выигрыш в силе даёт наклонная плоскость.
- Разновидности наклонной плоскости: клин и винт.

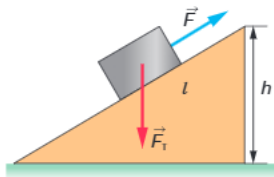
## ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое простые механизмы?
- Что такое рычаг?
- Что такое выигрыш в силе?

**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. При этом чем меньше угол между наклонной плоскостью и горизонтальной поверхностью, тем меньше усилий нужно прикладывать, чтобы поднять тело.

Как показывает опыт, для наклонной плоскости с малым трением *выигрыш в силе* равен отношению длины наклонной плоскости к высоте, на которую поднимается груз:

$$\frac{F_{\tau}}{F} = \frac{l}{h}.$$



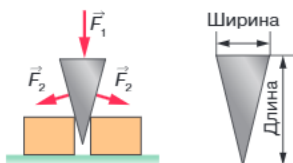
## ЭТО ИНТЕРЕСНО

Люди в древности использовали наклонные плоскости до того, как были открыты законы, которые лежат в основе действия простых механизмов. Около 2600 г. до н. э. наклонные плоскости применялись древними египтянами для подъёма каменных блоков при строительстве пирамид. Учёные считают, что для подъёма и установки каменных перекрытий в Стоунхендже также использовалась наклонная плоскость.

Наклонные плоскости нашли широкое применение в нашей жизни. Самый наглядный пример — наклонная поверхность пандуса или трапа. Чтобы легче было добраться до вершины горы, дорогу делают извилистой, в виде комбинации наклонных плоскостей, которую называют горным серпантинном. Горки, установленные на детских площадках, лестницы и эскалаторы — это тоже наклонные плоскости.

Разновидностями наклонной плоскости являются *клин* и *винт*.

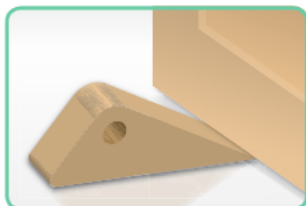
**КЛИН.** Клин представляет собой две наклонные плоскости, основания которых соприкасаются. Клин можно использовать для разделения тела на части, подъёма и удержания тяжёлых предметов над поверхностью.



При действии силы, приложенной к тупому концу клина, возникают две силы, перпендикулярные к его наклонным поверхностям. Выигрыш в силе, который даёт клин, можно найти, разделив длину клина на ширину его тупого конца.

### ЭТО ИНТЕРЕСНО

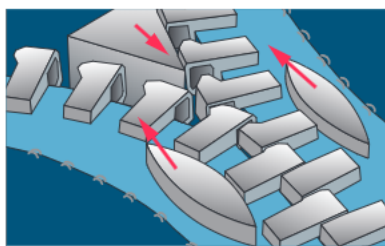
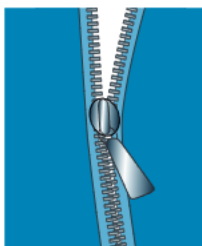
Первобытные орудия труда, изготовленные из камня, представляли собой клин. Например, камни, обычно кремень, обтачивали с двух сторон, чтобы образовался заострённый конец или клин. Такими орудиями труда были рубило или каменный топор, наконечники стрел и др. Позднее стали использовать клинья из металла и дерева.



Клин применяется в различных инструментах и приспособлениях, которыми мы пользуемся в нашей жизни. Например, топор, лопата, нож и др.

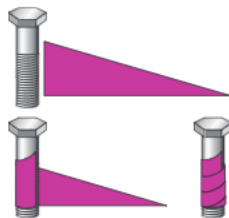
Дверной упор типа клина позволяет задерживать движение двери из-за возникающей силы трения между клином и нижней частью двери и между клином и полом. При этом человек прикладывает небольшую силу, чтобы установить клин под дверь, а в результате возникает большая сила, с которой клин фиксирует тяжёлую дверь.

Также клин используется в механизме застёжки-молнии. Застёжка-молния состоит из замка и двух лент, на которых в шахматном порядке расположены зубцы. В устройстве замка имеется два нижних боковых клина, которые прижимают зубцы вместе при застёгивании молнии, и один верхний клин, который помогает разъединять зубцы при расстёгивании.



**ВИНТ.** Винт можно представить как наклонную плоскость, обёрнутую вокруг цилиндра. Такая спирально закрученная наклонная плоскость образует *резьбу винта*. При этом расстояние между соседними витками для каждого винта одинаково и называется *шагом резьбы*.

Вкручивание винта в какую-либо поверхность, например в дерево, можно рассматривать как движение по наклонной плоскости. Поэтому винт, как и наклонная плоскость, даёт выигрыш в силе: усилие, которое мы прикладываем, чтобы вкрутить винт, намного меньше силы, которую создаёт винт, действуя на поверхность. Выигрыш в силе винта зависит от шага резьбы. Чем меньше шаг резьбы, тем больше выигрыш в силе и тем легче вкрутить винт.



ЭТО ИНТЕРЕСНО

Винт считается одним из последних изобретённых простых механизмов. Предположительно винты использовались с X в. до н. э. в Месопотамии, Древнем Египте и Древней Греции. Древнегреческий учёный Архимед в III в. до н. э. изобрёл так называемый архимедов винт — механизм для подъёма воды из нижележащих водоёмов в оросительные каналы. Широкое распространение винты получили с появлением станков для их изготовления.

Винты используются для соединения и удержания деталей вместе. Примерами винтов являются болты, шурупы, саморезы. Винты применяются в таких приспособлениях, как винтовые крышки, крепление лампочек, свёрла, которые мы используем в быту. Кроме этого, различные виды винтов используют в качестве крепежа на сложнейших современных установках, например на космических аппаратах, атомных электростанциях, глубоководных аппаратах и т. д. Они выдерживают большие нагрузки, связанные с высокими давлением и температурой.

- ! Выигрыш в силе, обеспечиваемый наклонной плоскостью, равен отношению длины наклонной плоскости к высоте, на которую поднимается груз.
- ! Разновидностями наклонной плоскости являются клин и винт.

ВЫВОДЫ

Наклонная плоскость; клин; винт

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

И ВОПРОСЫ ЗАДАНИЯ

1. Какой выигрыш в силе даёт наклонная плоскость?
2. Приведите примеры использования наклонной плоскости и её разновидностей (клина и винта) в нашей жизни и объясните механизм их действия.
3. Каким должен быть угол в основании клина, чтобы с его помощью можно было опрокинуть однородный куб, стоящий на горизонтальной поверхности (см. рисунок)?



## § 82 БЛОК И СИСТЕМА БЛОКОВ

### НОВОЕ В УРОКЕ

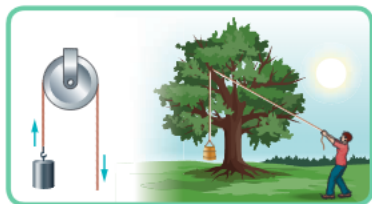
- Что такое блок.
- Какой блок называется неподвижным, а какой — подвижным.
- Что представляют собой системы блоков.

### ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое простые механизмы?
- Что такое выигрыш в силе?

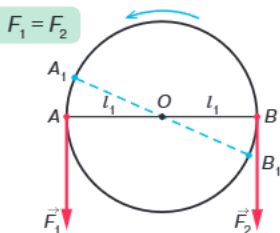
Если перекинуть верёвку через прочную ветку дерева, за один конец привязать груз, а за другой конец верёвки потянуть, то можно поднять груз на нужную высоту и закрепить его там. Такая система лежит в основе ещё одного простого механизма — блока.

**НЕПОДВИЖНЫЙ БЛОК.** Блок представляет собой колесо с жёлобом, по которому проходит верёвка, трос или цепь.



### ЭТО ИНТЕРЕСНО

По данным археологов, самые первые блоки использовали в Древнем Египте около 3,5 тысяч лет назад для подъёма воды. Известно, что великий Архимед в своих механизмах использовал системы из нескольких блоков. По легенде, с помощью такого механизма он смог вытянуть на берег трёхмачтовый грузовой корабль «Сиракузия».



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:  $OA = OB$ .

### ЭТО ИНТЕРЕСНО

Так как между тросом и блоком нет проскальзывания, часть троса, охватывающая верхнюю половину блока, вращается вместе с блоком. При этом точка  $A_1$ , которая бесконечно близка к точке  $A$ , при вращении блока займёт положение точки  $A$ , а точка  $B_1$  — положение точки  $B$ . Таким образом, вращение блока мы можем рассматривать как непрерывную последовательность бесконечно малых поворотов рычага  $AB$  вокруг оси  $O$ .

Согласно правилу моментов

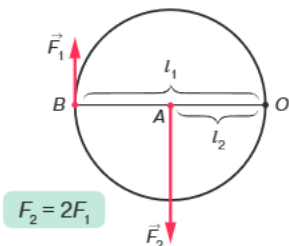
$$F_1 l_1 = F_2 l_2,$$

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

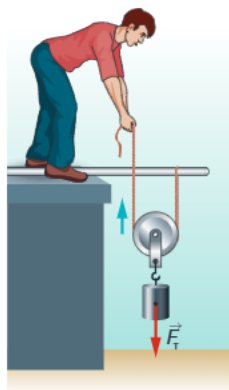
$$M_2 = F_2 l_2,$$

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  $M_1 = M_2$ , т. е.  $F_1 l_1 = F_2 l_1/2$ .

Получается, что  $F_2/F_1 = 2$ .

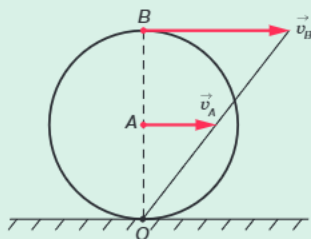
Это означает, что **подвижный блок даёт выигрыш в силе в 2 раза.**



ЭТО ИНТЕРЕСНО

Важно понимать, что точка  $O$  — это *мгновенная ось вращения* блока, которая вместе с блоком перемещается вдоль натянутого троса. Подвижный блок как бы катится без проскальзывания по тросу. Поэтому в данный конкретный момент времени скорость точки  $O$  равна нулю.

Хорошим аналогом движения подвижного блока является равномерное качение колеса по дороге без проскальзывания.



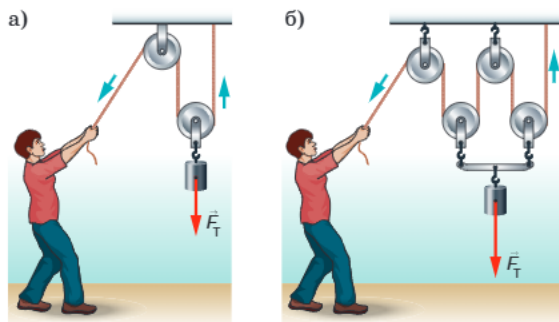
Точка  $O$  — мгновенная ось вращения колеса,

$$v_O = 0, \quad v_B = 2v_A.$$

В данной модели движение блока (его качение по тросу) можно рассматривать как непрерывную последовательность поворотов рычага  $OB$  относительно мгновенной оси вращения.

**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 (рис. а) недостаточно, можно сконструировать систему из подвижных и неподвижных блоков таким образом, чтобы она давала выигрыш в силе, например, в 4 раза и более (рис. б).



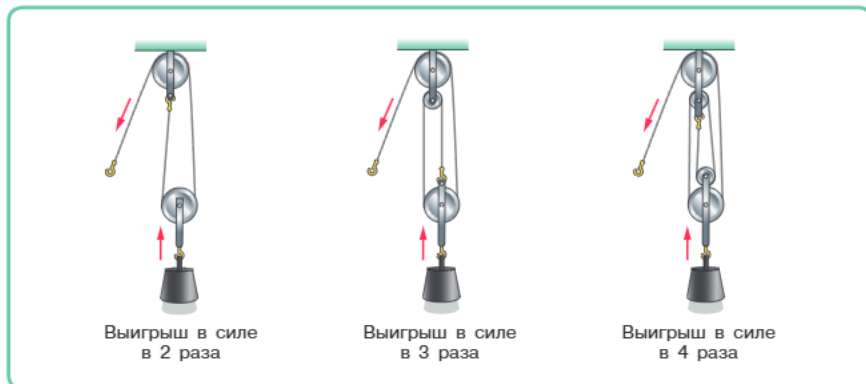
### ФИЗИКА В ЖИЗНИ

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.

Теоретически можно было бы использовать полиспасты с любым количеством блоков, чтобы получить выигрыш в силе, например, в 100 или 1000 раз. Но на практике обычно применяют полиспасты с 4–5 блоками. Для большего количества блоков необходимо задействовать очень длинные верёвки, что делает конструкцию неудобной в использовании. При этом увеличивается сила трения. Кроме того, сами блоки имеют массу. Поэтому требуется прикладывать дополнительные усилия, чтобы поднять не только сам груз, но и все элементы системы.



**ПРИМЕНЕНИЕ БЛОКОВ.** Блоки и системы блоков широко применяются в нашей жизни. Они используются в подъёмных механизмах лифтов, на кораблях для подъёма и опускания парусов, на строительных площадках, в эскалаторах. В театре занавес открывается и закрывается благодаря работе системы блоков. Современные спортивные силовые тренажёры оснащены грузами, которые могут подниматься под действием мышечных усилий человека посредством системы блоков.

Блоки и системы блоков используются в промышленном альпинизме, верёвочных парках и туристических соревнованиях. Например, при ремонте фасадов зданий специалисты могут работать в специальном удерживающем устройстве-подъёмнике, которое перемещается между этажами с помощью системы блоков.

Для уменьшения силы трения в осях блоков в их конструкции применяются ролики и подшипники.

- ! Неподвижный блок не даёт выигрыша в силе, но позволяет менять направление действия силы.
- ! Подвижный блок даёт выигрыш в силе в 2 раза.

**ВЫВОДЫ**

Блок; выигрыш в силе; подвижный блок; неподвижный блок; система блоков; полиспаст

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА**

**И ВОПРОСЫ ЗАДАНИЯ**

1. Какой блок называют неподвижным?
2. Какой блок называют подвижным?
3. Какой выигрыш в силе даёт подвижный блок?
4. Как с помощью троса следует соединить один неподвижный и один подвижный блоки, чтобы получить выигрыш в силе в 3 раза?

## § 83 КОЛЕСО И ОСЬ. ЗУБЧАТЫЕ ПЕРЕДАЧИ

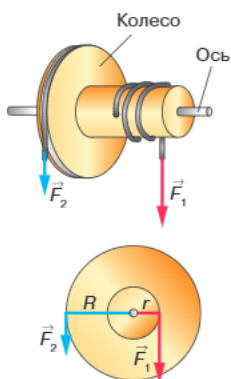
### НОВОЕ В УРОКЕ

- Что собой представляют колесо и ось.
- Какой выигрыш в силе даёт система колесо и ось.
- Что такое зубчатая передача.

### ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое простые механизмы?
- Что такое выигрыш в силе?
- В чём состоит условие равновесия рычага?

Огромную роль в развитии человеческой цивилизации сыграло колесо, изобретённое, по мнению историков, ещё в 4-м тыс. до н. э.



**КОЛЕСО И ОСЬ.** Колесо (диск большего радиуса), соединённое с осью (цилиндр меньшего радиуса), можно считать простым механизмом. Если рассмотреть их принцип действия, то можно заметить, что *колесо и ось работают как рычаг*. Точкой опоры является центр колеса, а плечи сил — это радиусы колеса  $R$  и оси  $r$ .

Большие силы, приложенные к оси, заставляют вращаться колёса, приводя в движение автомобили, велосипеды, автобусы и другие виды транспорта. В этом случае механизм даёт проигрыш в силе, но выигрыш в расстоянии. Ведь небольшой поворот оси приводит к увеличению расстояния, пройденного колесом. Этот эффект используется в механизме вращения вентиляторов, турбин и таких инструментов, как шлифовальные машины, циркулярные пилы и т. д.

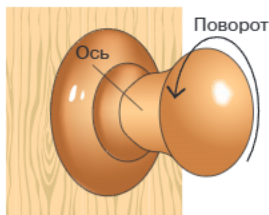
Если же небольшую силу приложить к краю колеса, то на ось передаётся большая сила, обеспечивая тем самым выигрыш в силе. Например, когда мы поворачиваем дверную ручку, вместе с ней вращается вал, который открывает дверную защёлку. Причём сила, которую мы прикладываем для вращения ручки, существенно меньше силы, которая приводит в движение механизм замка.

Этот же принцип используется при работе с отвёрткой. Рукоятка отвёртки служит колесом, а металлический стержень с наконечником — осью. Так же работает и руль. Рулевое колесо грузовика или автобуса имеет больший радиус, чем автомобиля. Это позволяет получить больший выигрыш в силе и облегчает управление тяжёлыми видами транспорта.

Так как колесо и ось можно рассматривать как рычаг, применим к ним правило равновесия рычага:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{R}{r}$$

Таким образом, выигрыш в силе, который создают колесо и ось, зависит от соотношения радиусов  $R$  и  $r$ .



ЭТО ИНТЕРЕСНО

Колесо и ось люди научились использовать ещё в древности. Например, вода или ветер, действуя на лопасти водяного или ветряного колеса, приводили его в движение и поворачивали вместе с ним ось. В свою очередь, вращение оси передавалось различным механизмам (жерновом для измельчения зерна, молоту в кузнице, пилам на лесопилке и т. д.).



Ворот — одно из древнейших изобретений, используется по сей день для подъёма воды из колодца, если нет насоса. Ворот состоит из барабана в форме цилиндра и прикреплённой к нему рукоятки. При повороте рукоятки барабан поворачивается, наматывая на себя верёвку, к которой привязано ведро или тяжёлые грузы.

**ЗУБЧАТОЕ КОЛЕСО (ШЕСТЕРНЯ).** Зубчатое колесо (шестерня, или шестерёнка) представляет собой колесо, на внешней стороне которого расположены зубья. Шестерни, сцепленные друг с другом через зубья, образуют механизм, который называется зубчатой передачей. Зубья на шестернях обычно делают одинакового размера, чтобы они в точности подходили друг другу и колёса вращались без проскальзывания.

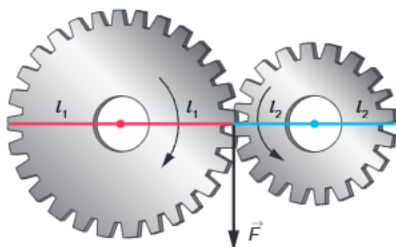
Рассмотрим, как работает зубчатая передача, состоящая из двух шестерён разного диаметра. В этом случае шестерни можно представить в виде пары равноплечих рычагов. Плечами рычагов являются радиусы колёс  $l_1$  и  $l_2$ .

Пусть, например, большая шестерня приводит в движение малую. На большую шестерню в точке соприкосновения шестерён действует сила  $\vec{F}$ . Тогда момент этой силы  $M_1$  равен произведению силы на плечо  $l_1$  большего рычага:  $M_1 = Fl_1$ . Эта же сила  $\vec{F}$  действует на зубья малой шестерни. При этом момент силы  $M_2$  по отношению к малой шестерне равен произведению силы на плечо  $l_2$  меньшего рычага:  $M_2 = Fl_2$ . Это означает, что при передаче движения от большего колеса к меньшему момент силы уменьшается, т. е.  $M_1 > M_2$ .

Таким образом, **если большая шестерня приводит в движение меньшую, то момент силы уменьшается. А если меньшая шестерня приводит в движение большую, то момент силы увеличивается.**

Малая шестерня имеет меньшее количество зубьев, чем большая. Это означает, что если большая шестерня сделает один оборот, то за это же время малая шестерня сделает несколько оборотов, т. е. она вращается с большей скоростью. Например, пусть большая шестерня имеет 30 зубцов, а малая — 20 зубцов. За время, пока большая шестерня сделает один оборот, малая шестерня сделает 1,5 оборота. Таким образом, количество зубьев и диаметр используемых колёс в зубчатой передаче определяют, с какой скоростью будет двигаться каждая из шестерён.

Зубчатые передачи нашли широкое применение во многих устройствах и приборах, где есть вращающиеся элементы, — от часов, миксеров и других бытовых приборов до автомобилей и сложнейших технических установок.



**ЭТО ИНТЕРЕСНО**

Одним из наиболее распространённых применений зубчатой передачи является *велосипед*. Если бы педали напрямую соединялись с колёсами, то велосипед двигался бы с очень малой скоростью. Поэтому на ось, на которой закреплены педали, и на заднее колесо устанавливают звёздочки (шестерни) разного диаметра и соединяют их цепью. Зубчатая передача передаёт усилие, с которым велосипедист действует на педали, к колёсам велосипеда. На некоторых велосипедах на заднем колесе имеется несколько звёздочек, что даёт возможность переключать скорости при движении. Звёздочки принято нумеровать следующим образом. Передние: первая самая маленькая, вторая средняя и третья самая большая, а в задней кассете звёздочки расположены наоборот: первая самая большая, а последняя самая маленькая. При переключении скоростей механизм перемещает цепь с одной звёздочки на другую, включая в передачу шестерни разного размера. Спускаясь с горы или двигаясь по ровной дороге, велосипедист переключается на более высокую передачу. Тогда колёса начинают вращаться быстрее, если продолжать крутить педали с той же скоростью. И наоборот, когда нужно преодолеть высокий подъём, велосипедист переключается на низкую передачу и едет с малой скоростью, быстро крутя педали. Максимальную скорость велосипедист может развить на комбинации самой большой передней звёздочки и самой маленькой задней, что соответствует самой высокой передаче.



**ВЫВОД**

! Колесо и ось можно рассматривать как рычаг. Выигрыш в силе, который дают колесо и ось, зависит от соотношения радиусов колеса и оси.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА**

Колесо и ось; ворот; зубчатое колесо; зубчатая передача

**И ВОПРОСЫ ЗАДАНИЯ**

1. От чего зависит выигрыш в силе, даваемый колесом и осью?
2. Приведите примеры использования колеса и оси в быту и технике.
3. Изменится ли выигрыш в силе, если вместо одного колеса на ось установить два; три; ... колеса с разными радиусами? Поясните свой ответ.
4. Какое преимущество обеспечивает зубчатая передача?

# «ЗОЛОТОЕ ПРАВИЛО» МЕХАНИКИ § 84

## НОВОЕ В УРОКЕ

Простые механизмы применяются при совершении работы в тех случаях, когда нужно действием одной силы уравновесить другую силу. Используя их, мы получаем выигрыш в силе или пути, но можно ли получить при этом выигрыш в работе?

- Что такое «золотое правило» механики.

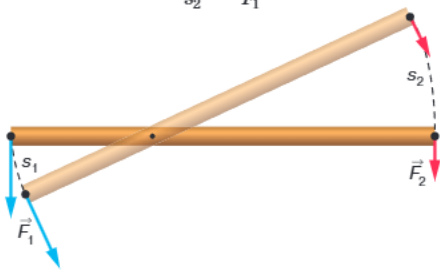
## ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Какие виды простых механизмов вы знаете?
- Что такое выигрыш в силе?
- Что такое механическая работа?
- Как определить механическую работу?

**РЫЧАГ И РАБОТА.** Опыты показывают, что при поднятии тяжёлого груза 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  $F_1 = 100$  Н,  $F_2 = 20$  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.

 ЭТО ИНТЕРЕСНО


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.



**НАКЛОННАЯ ПЛОСКОСТЬ И РАБОТА.** 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.

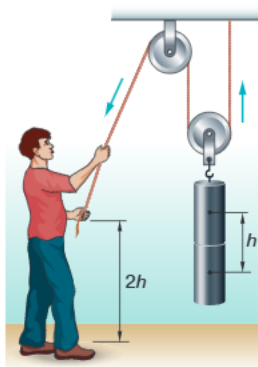
Так как выигрыш в силе, даваемый наклонной плоскостью длиной  $l$  и высотой  $h$ , равен  $l/h$ , то сила, при помощи которой груз весом  $P$  поднимается вдоль наклонной плоскости, будет равна  $F = (h/l)P$ . Следовательно, работа по перемещению груза вдоль наклонной плоскости длиной  $l$  равна

$$A_1 = \frac{h}{l} \cdot P \cdot l = Ph.$$

Если груз поднимать вертикально на ту же высоту  $h$ , то работа будет равна  $A_2 = Ph$ , т. е.

$$A_1 = A_2.$$

**Наклонная плоскость также не даёт выигрыша в работе.**



**ПОДВИЖНЫЙ БЛОК И РАБОТА.** Рассмотрим работу, совершаемую с помощью подвижного блока. Как показывает опыт, чтобы поднять груз на высоту  $h$ , нужно конец верёвки, за который мы тянем, переместить на высоту  $2h$ .

Таким образом, 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 одного неподвижного и четырёх подвижных блоков, придётся вытянуть 16 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.

**ВАЖНО**

Уже древним учёным было известно правило, применяемое ко всем механизмам, — **«золотое правило» механики**: «Во сколько раз выигрываем в силе, во столько же 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.

**ЭТО ИНТЕРЕСНО**

Многие историки науки считают, что это правило было известно ещё Аристотелю. Без сомнения, это правило было знакомо людям, имевшим 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».



Герон Александрийский  
(I—II вв. н. э.)

«Золотое правило» механики является приближённым законом, так как оно не учитывает большого количества факторов, свойственных окружающему нас миру: наличия силы трения, наличия силы сопротивления воздуха, наличия веса у отдельных частей механизмов и т. д.

! Ни один из механизмов не даёт выигрыша в работе. «Золотое правило» механики гласит, что, во сколько раз выигрываем в силе, во столько же раз проигрываем в пути.

**ВЫВОД**

**«Золотое правило» механики**

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА**

**И ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ**

1. Какое соотношение существует между путями, пройденными точками приложения сил на рычаге, и этими силами?
2. Во сколько раз проигрывают в пути, используя для поднятия грузов подвижный блок?
3. Можно ли проверить выполнение «золотого правила» механики в невесомости? Обоснуйте ответ.

## § 85 КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ

### НОВОЕ В УРОКЕ

- Что такое полная и полезная работа.
- Что такое коэффициент полезного действия механизма.
- Как определить КПД простого механизма.

### ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Какие виды простых механизмов вы знаете?
- Как определить механическую работу?

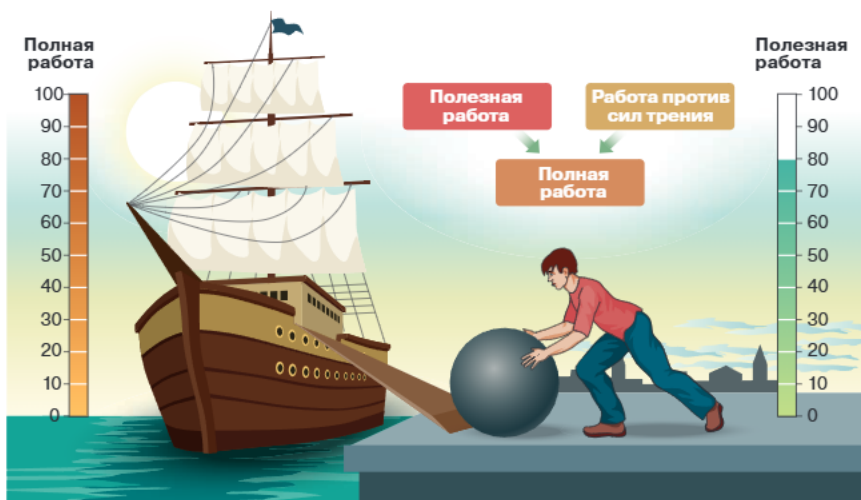
На предыдущих уроках мы познакомились с простыми механизмами. Изучая их принцип действия, мы не учитывали вес рычагов, блоков и других частей механизмов, а также существующую силу трения и т. п. Условия работы механизмов, при которых не учитываются все эти факторы, называются **идеальными**. В этих условиях вся работа, совершённая приложенной силой (эта работа называется **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.

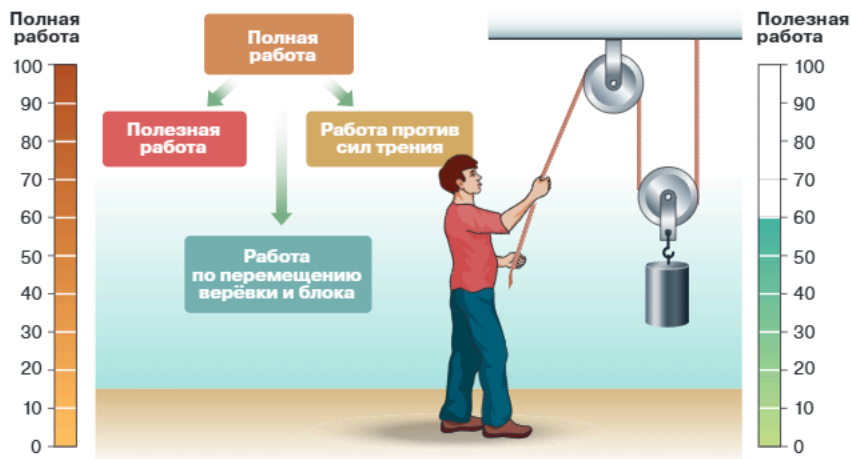
При использовании наклонной плоскости часть от полной работы тратится на работу против сил трения.

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 в осях блоков. Другая часть полной работы тратится на перемещение перекинутой через блок верёвки.

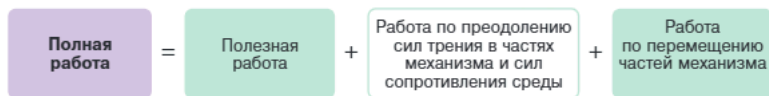


Если же мы используем подвижный блок, то ещё совершаем дополнительную работу по его подъёму, так как на него действует сила тяжести.



Какой бы механизм мы ни взяли, полезная работа  $A_{\text{п}}$ , совершённая с его помощью, всегда составляет лишь часть полной (затраченной) работы  $A_{\text{з}}$ :

$$A_{\text{п}} < A_{\text{з}}, \quad \text{или} \quad \frac{A_{\text{п}}}{A_{\text{з}}} < 1.$$



### КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ

**ВАЖНО**

Характеристика механизма, определяющая, какую долю полезная работа составляет от полной, называется **коэффициентом полезного действия (КПД)** механизма.

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.

В настоящее время наиболее распространённым способом получения электроэнергии является способ её производства на тепловых электростанциях. В резервуарах сжигается топливо, 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 легковых автомобилях, как правило, не превышает 10%.



Иногда при анализе работы того или иного технического устройства могут быть поставлены необычные вопросы. Например, как оценить КПД огнестрельного оружия, рассматривая его в качестве тепловой машины. Для этого, очевидно, необходимо знать энергетическую способность топлива (пороха), содержащегося в патроне, а также массу пули и её скорость после выстрела. При этом, разумеется, только часть энергии сгоревшего пороха будет потрачена на превращение в кинетическую энергию пули.

Более подробно с работой тепловых машин вы познакомитесь в старших классах.

#### Выводы

! Характеристику механизма, определяющую, какую долю полезная работа составляет от полной, называют коэффициентом полезного действия механизма (КПД).

! КПД всех машин и механизмов меньше 100% (меньше единицы).

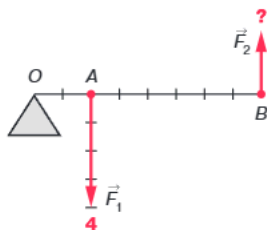
#### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Полная работа; полезная работа; коэффициент полезного действия

#### И ВОПРОСЫ ЗАДАНИЯ

1. Какую работу называют полезной, а какую — полной?
2. Как изменится КПД механизма, если уменьшить трение в его узлах?
3. Почему невозможно построить машину с КПД, равным 100%?
4. Объясните, в чём состоит польза простых механизмов, если они не дают выигрыша в работе.

- **ЗАДАЧА 1.** Используя рисунок, определите, какую силу необходимо приложить к рычагу в точке  $B$ , чтобы он остался в равновесии.

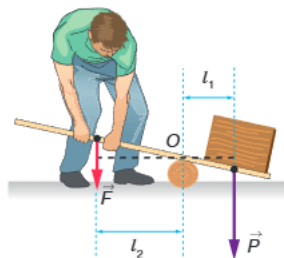


Решение. По правилу моментов  $F_1 l_1 = F_2 l_2$ , где  $l_1$  и  $l_2$  — плечи соответствующих сил. На рисунке сила  $F_1$  равна 4 единицам, а её плечо  $l_1$  составляет 2 единицы. Расстояние от точки  $O$  до точки  $B$  равно 8 единицам, а это и есть плечо силы  $F_2$ , т. е.  $l_2$ .

Так как  $F_1 l_1 = 2 \cdot 4 = 8$ , то и  $F_2 l_2 = 8$ . Поэтому сила  $F_2$ , уравновешивающая силу  $F_1$ , должна быть равна 1 единице и направлена в противоположную сторону.

Ответ: 1.

- **ЗАДАЧА 2.** Рабочий приподнимает при помощи рычага плиту массой 100 кг. Короткое плечо рычага равно 0,8 м, а длинное — 1,2 м. Какую силу должен приложить рабочий к большому плечу рычага?



Дано:  
 $m = 100$  кг  
 $l_1 = 0,8$  м  
 $l_2 = 1,2$  м

$F_2 = ?$

Решение.  
 По правилу равновесия рычага

$$F_1 / F_2 = l_2 / l_1.$$

Плита действует на рычаг с силой, равной её весу:

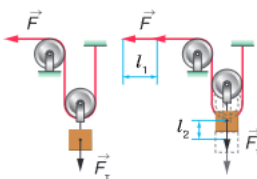
$$F_1 = P = mg.$$

$$\text{Тогда } \frac{P}{F_2} = \frac{l_2}{l_1} \text{ и } F_2 = P \frac{l_1}{l_2} = mg \frac{l_1}{l_2}.$$

$$F_2 = 100 \text{ кг} \cdot 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot \frac{0,8 \text{ м}}{1,2 \text{ м}} \approx 666,7 \text{ Н}.$$

Ответ: 666,7 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?



Дано:  
 $m = 70 \text{ кг}$   
 $l_1 = 40 \text{ см}$

$F_1 = ?$   
 $F_2 = ?$

Решение.

Сила тяжести, действующая на груз, равна  $F_T = mg$ .

Подвижный блок даёт выигрыш в силе в 2 раза, следовательно, для поднятия этого груза надо приложить силу

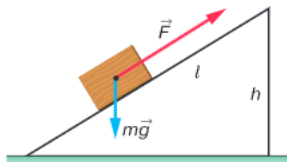
$$F = \frac{F_T}{2} = \frac{mg}{2}; \quad F = \frac{70 \text{ кг} \cdot 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}}{2} = 350 \text{ Н}.$$

По «золотому правилу» механики  $F l_1 = F_T l_2$ .

Тогда  $l_2 = l_1 / 2 = 20 \text{ см}$ .

Ответ: 350 Н; 20 см.

- ЗАДАЧА 4. Для подъёма груза по наклонной плоскости приложили силу, направленную вдоль наклонной плоскости и равную 300 Н. Определите массу груза, если известно, что длина наклонной плоскости равна 1,5 м, а её высота равна 1 м.



Дано:  
 $F = 300 \text{ Н}$   
 $l = 1,5 \text{ м}$   
 $h = 1 \text{ м}$

$m = ?$

Решение.

Сила тяжести, действующая на груз,  $F_T = mg$ .

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, этот выигрыш равен  $l/h$ :  $\frac{F_T}{F} = \frac{l}{h}$ .

Тогда  $F_T = mg = F \frac{l}{h}$ , откуда

$$m = \frac{F l}{g h}; \quad m = \frac{300 \text{ Н}}{10 \text{ Н/кг}} \cdot \frac{1,5 \text{ м}}{1 \text{ м}} = 45 \text{ кг}.$$

Ответ: 45 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.

Дано:  
 $m = 40 \text{ кг}$   
 $h = 8 \text{ м}$   
 $F = 450 \text{ Н}$

$\eta = ?$

Решение.

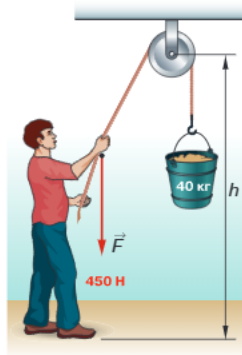
$$\eta = \frac{A_n}{A_z} \cdot 100\%.$$

$A_n = Ph$ , где  $P = mg$  — вес груза.

$A_z = Fl$ , где  $l = h$  — длина вытягиваемой верёвки.

$$\eta = \frac{mgh}{Fh} \cdot 100\% = \frac{mg}{F} \cdot 100\%;$$

$$\eta = \frac{40 \text{ кг} \cdot 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}}{450 \text{ Н}} \cdot 100\% \approx 88,9\%.$$

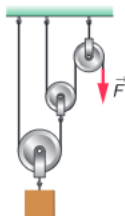


Ответ: 88,9%.

**Задачи для самостоятельного решения**

- 1 С какой силой нужно поднимать тачку с песком за ручки, если масса гружёной тачки составляет 90 кг, а плечи рычага соответственно равны 1,2 м и 0,4 м?
- 2 С помощью рычага длиной 2 м необходимо приподнять мотоцикл массой 250 кг, чтобы заменить колесо. В каком месте должна находиться точка опоры, если на конец рычага действовать с силой 350 Н?
- 3 Атлет держит в руке гантель массой 10 кг. Какая сила мышц (бицепсов) действует при поднятии гантели, если расстояние от точки приложения мышечной силы до локтевого сустава составляет 4 см, а до центра тяжести гири — 30 см?
- 4 Холодильник массой 70 кг нужно погрузить в грузовую машину на высоту 1,2 м с помощью наклонной плоскости. Какой длины следует выбрать наклонную плоскость, чтобы толкать холодильник с силой 150 Н? Трение не учитывайте.

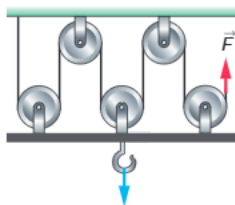
- 5 Используя систему из одного неподвижного и двух подвижных блоков (см. рисунок), поднимают тяжёлый груз, прикладывая к концу верёвки силу 100 Н. Определите массу груза. На сколько сантиметров нужно вытянуть верёвку, если груз поднимается на высоту 50 см?



- 6 Лебёдка представляет собой барабан, на который с помощью рукоятки наматывается трос, поднимающий или подтягивающий груз. Радиус барабана равен 10 см, а длина рукоятки 40 см. Какую силу нужно приложить к рукоятке, чтобы поднять груз массой 50 кг?
- 7 Один конец рычага перемещается на 25 см под действием силы 110 Н. При этом груз массой 40 кг приподнимается на 5 см на другом конце рычага. Определите КПД рычага.

- 8 Груз массой 350 кг необходимо поднять вверх по наклонной плоскости длиной 5 м и высотой 0,5 м. Определите КПД наклонной плоскости, если рабочий прикладывает силу 450 Н.

- 9 Два мешка цемента, масса каждого из которых 50 кг, поднимают на 10-й этаж строящегося дома при помощи системы из двух неподвижных и трёх подвижных блоков (см. рисунок), действуя на трос силой 216 Н. Вычислите КПД установки.



## § 87 ЛАБОРАТОРНЫЕ И ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ

### Лабораторная работа № 12

#### Проверка условия равновесия рычага

##### Цель работы

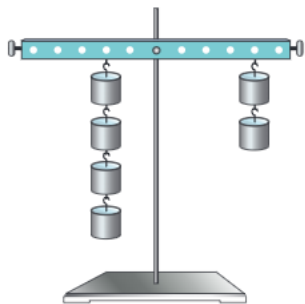
Экспериментально выяснить, при каком соотношении сил и их плеч рычаг находится в равновесии.

##### Оборудование и материалы

Рычаг на штативе, линейка, набор грузов (масса каждого 100 г), динамометр.

##### Ход работы

- Уравновесьте рычаг, вращая гайки на его концах так, чтобы он расположился горизонтально.
- Подвесьте два груза на правой части рычага так, чтобы расстояние от оси вращения до точек подвесов грузов было в пределах от 10 до 15 см. Значения длины правого плеча  $l_1$  рычага и действующей на него силы  $F_1$  запишите в таблицу в своей тетради.



№ опыта	$F_1$ , Н	$l_1$ , см	$F_2$ , Н	$l_2$ , см	$F_1/F_2$	$l_2/l_1$

- Опытным путём установите, на каком расстоянии слева от оси вращения нужно подвесить один груз, чтобы рычаг уравновесился. Значения длины левого плеча  $l_2$  рычага и действующей на него силы  $F_2$  запишите в таблицу в своей тетради.
- Повторите опыт, подвешивая с левой стороны рычага два груза; три груза.
- Вычислите для каждого опыта отношения сил  $F_1/F_2$  и плеч  $l_2/l_1$ .
- Сделайте вывод о том, при каком условии рычаг находится в равновесии.
- Проверьте правило равновесия рычага, если обе силы, действующие на рычаг, приложены к точкам, расположенным с одной стороны от оси вращения рычага. Для этого подвесьте один, два или три груза на расстоянии  $l_1$  слева от оси вращения рычага.
- С помощью динамометра определите, какую силу нужно приложить к точке, расположенной на расстоянии  $l_2$  слева от оси вращения рычага, чтобы удерживать рычаг в положении равновесия. Значения длин плеч  $l_1$  и  $l_2$  и сил  $F_1$  и  $F_2$  запишите в таблицу в своей тетради.
- Вычислите отношения сил  $F_1/F_2$  и плеч  $l_2/l_1$  для этого опыта.
- Сделайте выводы.

Лабораторная работа № 13

Определение коэффициента полезного действия наклонной плоскости

Цель работы

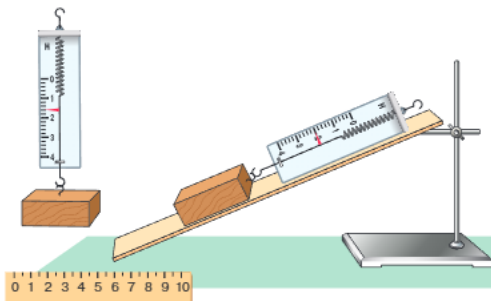
Определить КПД наклонной плоскости, убедиться на опыте в том, что полезная работа, выполненная с помощью простого механизма (наклонной плоскости), меньше полной (затраченной).

Оборудование и материалы

Доска, динамометр, измерительная линейка, брусок, штатив, транспортер из школьного набора.

Ход работы

- С помощью динамометра определите вес  $P$  бруска.



- Закрепите доску в лапке штатива в наклонном положении под углом  $30^\circ$ .
- Положите брусок на доску, прикрепив к нему динамометр. С помощью динамометра перемещайте брусок с постоянной скоростью вверх по наклонной доске. Измерьте силу тяги  $F$ .
- С помощью линейки измерьте путь  $s$ , который проделал брусок, и высоту  $h$ , на которую он был поднят.
- Вычислите полезную работу по формуле  $A_{\text{п}} = Ph$ , а также затраченную работу по формуле  $A_{\text{з}} = Fs$ .
- Определите КПД наклонной плоскости по формуле  $\eta = \frac{A_{\text{п}}}{A_{\text{з}}} \cdot 100\%$ .
- Результат измерений и вычислений запишите в таблицу в своей тетради.

$P$ , Н	$F$ , Н	$h$ , м	$s$ , м	$A_{\text{п}}$ , Дж	$A_{\text{з}}$ , Дж	$\eta$ , %

- Закрепите доску в лапке штатива в наклонном положении под углом  $45^\circ$ .
- Проведите необходимые измерения и вычислите полезную и затраченную работу указанным выше способом. Вычислите КПД наклонной плоскости при угле  $45^\circ$ .
- Результат измерений и вычислений запишите в таблицу в своей тетради.
- Сравните КПД наклонных плоскостей с разными углами наклона.
- Сделайте вывод.

## Практические работы-исследования

### Изучаем простые механизмы

Положение центра тяжести играет важную роль при решении инженерных задач, связанных с устойчивостью конструкций. Какими же способами можно определить центр тяжести плоских фигур?

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ЦЕНТРА ТЯЖЕСТИ ПЛОСКОЙ ФИГУРЫ

### Цель работы

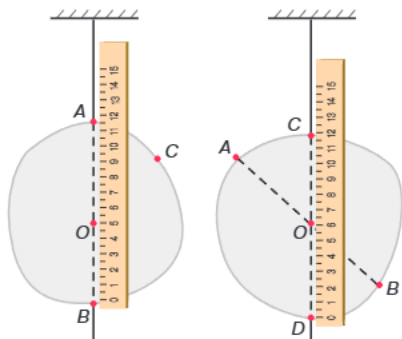
Опытным путём найти положение центра тяжести двух фигур из картона и угольника (линейки треугольной формы).

### ПОМОЩНИК

- В качестве оборудования можно использовать штатив, плотный картон, угольник из школьного набора, линейку, скотч, нить, карандаш.

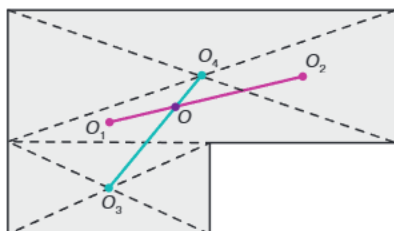
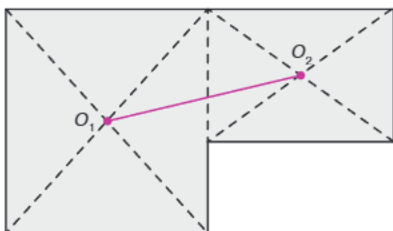
**Задание 1.** Определение положения центра тяжести плоской фигуры произвольной формы

- С помощью ножниц вырежьте из картона фигуру произвольной формы. Скотчем прикрепите к ней нить в точке  $A$ . Подвесьте фигуру за нить к лапке штатива. С помощью линейки и карандаша отметьте на картоне линию вертикали  $AB$ .
- Переместите точку крепления нити в положение  $C$ . Повторите описанные выше действия.
- Точка  $O$  пересечения линий  $AB$  и  $CD$  даёт искомое положение центра тяжести фигуры.



**Задание 2.** Определение положения центра тяжести плоской фигуры

- Нарисуйте в тетради фигуру, состоящую из двух произвольных прямоугольников.
- С помощью карандаша и линейки разбейте фигуру на два прямоугольника. Построением найдите положения  $O_1$  и  $O_2$  их центров тяжести. Очевидно, что центр тяжести всей фигуры находится на линии  $O_1O_2$ .



- Разбейте фигуру на два прямоугольника другим способом. Построением найдите положения  $O_3$  и  $O_4$  центров тяжести каждого из них. Соедините точки  $O_3$  и  $O_4$  линией.
- Точка  $O$  пересечения линий  $O_1O_2$  и  $O_3O_4$  определяет положение центра тяжести фигуры.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ КПД ПОДВИЖНОГО БЛОКА

В реальных простых механизмах всегда существуют потери энергии, связанные с силой трения и весом отдельных частей механизмов. Поэтому совершённая с помощью механизма работа всегда больше полезной работы по перемещению грузов. Выясним, чему равен КПД подвижного блока.

#### Цель работы

Опытным путём определить КПД подвижного блока.

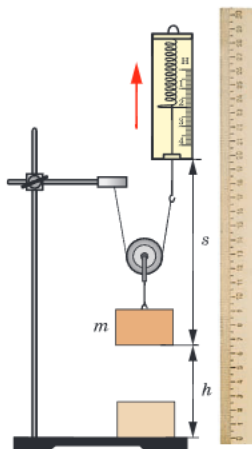
#### ПОМОЩНИК

- В качестве оборудования можно использовать подвижный блок, груз, нить, штатив, динамометр, линейку.
- Соберите экспериментальную установку согласно рисунку.
- Прикрепите груз массой 100—200 г к подвижному блоку. К свободному концу нити прикрепите динамометр.
- С помощью собранной вами установки поднимите груз на высоту  $h$ , равную примерно 15 см.
- Зафиксируйте показания динамометра (сила  $F$ ).
- Измерьте перемещение  $h$  груза и перемещение  $s$  динамометра.
- Вычислите полезную работу, совершённую с помощью подвижного блока, по формуле

$$A_{\text{п}} = mgh.$$

- Вычислите полную (затраченную) работу по формуле  $A_3 = Fs$ .
- Вычислите КПД подвижного блока по формуле

$$\eta = \frac{A_{\text{п}}}{A_3} \cdot 100\%.$$



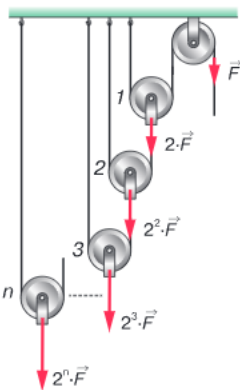
$P = mg$ , Н	$F$ , Н	$h$ , м	$s$ , м	$A_{\text{п}}$ , Дж	$A_3$ , Дж	$\eta$ , %

- Проверьте, сохраняется ли значение КПД подвижного блока при подъёме двух грузов; трёх грузов.
- Возможны ли условия, при которых приведённая установка будет обладать КПД, равным 100 %? Ответ обоснуйте.
- Сделайте вывод.

## КЕЙС

## В ПОМОЩЬ БУДУЩИМ АЛЬПИНИСТАМ

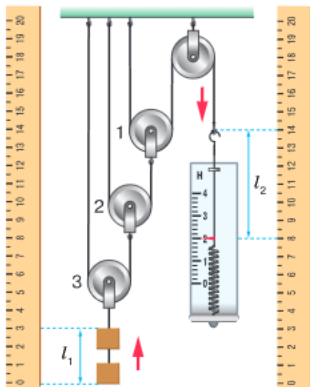
Посмотрев рекламный ролик об использовании полиспаста альпинистами, уже знакомые нам ученики инженерного класса Петя и Саша решили сами изготовить подобное устройство и проверить его возможности на опыте. Ребята удивило, что с помощью полиспаста альпинист без труда поднял себя вверх вместе с тяжёлым рюкзаком. Ученики обратились за помощью к своему учителю физики, который похвалил их за инициативу, но посоветовал сначала проверить работу полиспаста на основе его упрощённой модели. При этом учитель пояснил, что при проверке работы устройства в реальных условиях нужно учитывать наличие сил трения в осях блоков полиспаста. Чем больше подвижных блоков содержит устройство, тем большая совокупная сила трения будет возникать в системе при движении груза. Поэтому кроме проверки выигрыша в силе, получаемого с помощью полиспаста, учитель рекомендовал ребятам проверить также выполнение «золотого правила» механики. Изготовьте и вы модель полиспаста и проверьте основные закономерности его работы.



**НАУЧНАЯ СПРАВКА.** Простейший полиспаст представляет собой систему, состоящую из неподвижного блока и одного подвижного. Такая система позволяет получить выигрыш в силе в 2 раза (без учёта сил трения). В случае наличия двух подвижных блоков выигрыш в силе будет вдвое больше, чем в случае одного подвижного блока:  $2^2 = 4$ . При трёх подвижных блоках выигрыш в силе будет вдвое больше, чем в случае двух подвижных блоков:  $2^3 = 8$ . Если же полиспаст состоит из  $n$  подвижных блоков, то в рамках идеальной физической модели (трение отсутствует, блоки невесомы) выигрыш в силе будет равен  $2^n$ .

## ПОМОЩНИК

- В качестве оборудования вам понадобятся: набор грузов известной массы, набор лёгких блоков (удобно использовать пластмассовые блоки диаметром около 3 см и массой около 8 г), динамометр Бакушинского, линейки, нить.
- Введём обозначения:  
 $m$  — суммарная масса грузов;  
 $F_1 = mg$  — сила тяжести;  
 $l_1$  — перемещение грузов по вертикали вверх (перемещение точки приложения силы  $F_1$ );  
 $F_2$  — показания динамометра, к крюку которого прикреплён свободный конец нити, переброшенной через неподвижный блок;  
 $l_2$  — перемещение динамометра при его равномерном движении вниз (перемещение точки приложения силы  $F_2$ ).



**Этапы выполнения задания**

- Сначала проведите измерения для полиспаста, состоящего из неподвижного блока и только одного подвижного блока, к которому прикреплены перегрузки известной массы.
- Рукой плавно перемещайте динамометр вниз таким образом, чтобы перегрузки начали медленно и равномерно перемещаться вверх.
- Зафиксируйте по шкале динамометра значение силы натяжения нити  $F_2$ .
- С помощью линеек измерьте перемещения  $l_1$  и  $l_2$  точек приложения сил  $F_1$  и  $F_2$ .
- Проведите аналогичные измерения для полиспастов, содержащих  $n = 2$  и  $n = 3$  подвижных блока.
- Проверьте, насколько точно в реальных условиях выполняется «золотое правило» механики:  $F_1 l_1 = F_2 l_2$ .

Число подвижных блоков	$m$ , кг	$F_1$ , Н	$F_2$ , Н	$l_1$ , м	$l_2$ , м	$F_1 l_1$ , Н · м	$F_2 l_2$ , Н · м
$n = 1$							
$n = 2$							
$n = 3$							

- Предложите метод, позволяющий оценить совокупную силу трения, возникающую в системе при движении грузов.
- Сделайте выводы.



## ПОДВЕДЁМ ИТОГИ

- Простые механизмы применяют для того, чтобы получить выигрыш в силе, т. е. увеличить силу, действующую на тело.
- Рычаг находится в равновесии, если силы, действующие на него, обратно пропорциональны плечам этих сил.
- Точку приложения равнодействующей сил тяжести, действующей на все части тела, называют центром тяжести тела.
- Выигрыш в силе, обеспечиваемый наклонной плоскостью, равен отношению длины наклонной плоскости к высоте, на которую поднимается груз.
- Разновидностями наклонной плоскости являются клин и винт.
- Неподвижный блок не даёт выигрыша в силе, но позволяет менять направление действия силы.
- Подвижный блок даёт выигрыш в силе в 2 раза.
- Ни один из механизмов не даёт выигрыша в работе. «Золотое правило» механики гласит, что, во сколько раз выигрышаем в силе, во столько же раз проигрываем в пути.
- Характеристику механизма, определяющую, какую долю полезная работа составляет от полной, называют коэффициентом полезного действия механизма (КПД).

## Вопросы для обсуждения

- ❓ Забитый в доску гвоздь практически невозможно вытащить без приспособлений. Однако с помощью клещей это сделать совсем не сложно. Почему?
- ❓ На невесомом рычаге, имеющем разные плечи, уравновешены два стальных шарика, объёмы которых различаются 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.

## Темы исследовательских и проектных работ

- Простые механизмы — от древности до наших дней.
- Как строили египетские пирамиды.
- Механизмы Архимеда.
- Рычаги в человеческом теле.
- Человек и равновесие.
- Равновесие в архитектуре.
- Равновесие в спорте.
- Использование системы блоков.
- Простые механизмы в живой природе.
- Механизмы с идеальным КПД.

## Ответы к задачам для самостоятельного решения

### Глава 5, § 44

1. 3 Н.
2.  $\approx 385$  Па;  $\approx 0,8$  Па.
3. 125 Па; 500 Па; 625 Па.
4. Давление кубика с гранью 4 см в 2 раза больше.
5.  $\approx 78$  м.

### Глава 5, § 53

1. 50 кПа.
2.  $\approx 1,1$  кПа.
3. 24 м.
4. Масло.
5.  $\approx 2,4 \cdot 10^4$  Н.
6. 3,84 кН; 1,28 кН; 3,84 кН.
7. Серная кислота; 38 см.
8. 860 кг/м<sup>3</sup>.
9.  $\approx 2,6$  мм.
10. 8 см.

### Глава 6, § 58

1. 10 м;  $\approx 98,6$  кПа.
2.  $\approx 750$  мм рт. ст.
3. 810,4 Н.
4.  $\approx 12,9$  м.
5. 22,42 кПа.
6. 350 м.

### Глава 7, § 65

1. 102 Н.
2.  $\approx 2,9$  см<sup>3</sup>.
3. Бензин.
4. Есть; 30 см<sup>3</sup>.
5. 250 кг/м<sup>3</sup>; 6 кг.
6. 0,48 см.
7. 0,49 м; 0,50 м.
8.  $\approx 3,1$  л.
9.  $\approx 9,4$  кН.
10. Кирпич; керосин.

### Глава 8, § 69

1. 80 Н.
2.  $\approx 233$  Дж.
3.  $\approx 2$  м.
4.  $4 \cdot 10^7$  Дж.
5. 15 Н.
6. Мощность мотоцикла в  $\approx 46$  раз больше.
7. 50 Вт.
8. 3,5 кВт.
9.  $A_6 = 2A_3$ ;  $N_3 = N_6$ .

### Глава 8, § 75

1. Тело массой 10 кг.
2. 22,5 МДж.
3. В момент падения в  $\approx 1,6$  раза больше.
4.  $\approx 3,2$  м/с.
5.  $\approx 7,7$  м/с;  $\approx 4,5$  м/с.
6. 172,8 м.
7. На 22,5 Дж; на 22,5 Дж.

### Глава 9, § 85

1. 300 Н.
2.  $\approx 25$  см от края рычага, у которого находится мотоцикл.
3. 850 Н.
4. 5,6 м.
5. 40 кг; 2 м.
6. 125 Н.
7. 73 %.
8. 78 %.
9. 77 %.